

**Experimentelle Vergleichsstudie zur Effizienz unterschiedlicher
Gleichschaltungssysteme von Artikulatoren**

**Dissertation
zur Erlangung des akademischen Grades**

doctor medicinae dentariae

vorgelegt dem Rat der Medizinischen Fakultät
der Friedrich-Schiller-Universität Jena

von Wolfgang Georg Hempel
geboren am 29.11.1975 in Fürth/ Bayern

Gutachter

1.
2.
3.

*Meiner Familie
in Liebe und Dankbarkeit gewidmet.*

Inhaltsverzeichnis

1 Zusammenfassung

2 Einleitung

3 Zielstellung

4 Material und Methode

4.1 Artikulatortypen und Gleichschaltungssysteme

4.1.1 Gebrauchte Artikulatoren Artex TK mit Splitexsystem

4.1.2 Fabrikneue Artikulatoren Artex TK mit Splitexsystem

4.1.3 Fabrikneue Artikulatoren Artex TK mit Split-Set- System

4.1.4 Fabrikneue Artikulatoren Artex TK mit Splitexsystem und Justagekleber

4.1.5 Fabrikneue Artikulatoren Arti S4 mit Splitexsystem

4.1.6 Fabrikneue Artikulatoren Arti S4 mit Split-Set- System

4.2 Prüfkörperherstellung

4.3 Vorversuchsreihe

4.3.1 Streifenprojektionsmessung

4.3.2 Vermessung mit der Zeiss Jena Universal Messmaschine (UMM)

4.4 Prüfparameter

4.5 Statistische Analyse

5 Ergebnisse

5.1 Experimentelle Studie

5.1.1 Messpunkterfassung

5.1.2 Messergebnisse --Gebrauchte Artikulatoren Artex TK mit Splitexsystem--

5.1.3 Messergebnisse --Fabrikneue Artikulatoren Artex TK mit Splitexsystem--

- 5.1.4 Messergebnisse --Fabrikneue Artikulatoren Artex TK mit Split-Set-System--
- 5.1.5 Messergebnisse --Fabrikneue Artikulatoren Artex TK mit Splitexsystem und Justagekleber--
- 5.1.6 Messergebnisse --Fabrikneue Artikulatoren Arti S4 mit Splitexsystem--
- 5.1.7 Messergebnisse --Fabrikneue Artikulatoren Arti S4 mit Split-Set-System--
- 5.2 Genauigkeitsvergleich aller getesteten Systeme
- 5.3 Statistische Darstellung der signifikanten Abweichungen

6 Diskussion

- 6.1 Experimentelles Procedere
 - 6.1.1 Versuchsanordnung und Geräte
 - 6.1.2 Prüfparameter
 - 6.1.2.1 Vertikale Abweichung
 - 6.1.2.2 Horizontale Abweichung
- 6.2 Standardisierung der Versuchsreihe
- 6.3 Ergebnisbewertung
 - 6.3.1 Gleichschaltung mit Pattern Resin- Fixierung
 - 6.3.2 Gleichschaltung mit Gips- Fixierung
 - 6.3.3 Gleichschaltung mit Girrbach Justagekleber- Fixierung
- 6.4 Bewertung der Präzision von Gleichschaltungssystemen
- 6.5 Praktische Anwendbarkeit

7 Schlussfolgerungen

8 Literaturverzeichnis

9 Anhang

1 Zusammenfassung

Bei der Herstellung eines hochwertigen Zahnersatzes gehört die perfekte Passgenauigkeit zur Grundvoraussetzung. Um diese zu erreichen, werden Kiefergelenksimulatoren unterschiedlicher Bauarten angeboten, die in ihrer Genauigkeit geringste Fertigungstoleranzen aufweisen. Trotzdem ist eine Austauschbarkeit der Artikulatoren untereinander, auch in der gleichen Baureihe, nicht ohne Weiteres möglich.

Daher sollte überprüft werden, inwieweit unterschiedliche Gleichschaltungssysteme es ermöglichen, die Artikulatorenpools der zahnärztlichen Praxis mit denen des Referenzdentallabors ohne Genauigkeitsschwankungen aufeinander abstimmen können. Da ein taktiler Erfassen von Störgrößen im menschlichen Gebiss bei 0.03 mm beginnt und bereits zu Parafunktionen führt, dürfen systembedingte Genauigkeitsschwankungen in der Gleichschaltung eines Artikulatorenpools keinesfalls den Wert von 0.03 mm übersteigen.

In der vorliegenden Studie wurden unterschiedliche Artikulatorenserien mit verschiedenen Gleichschaltungssystemvarianten unter Standardbedingungen gleichgeschaltet. Zur Überprüfung der Präzision dieser Gleichschaltungen kamen eigens entworfene und nach einem speziellen Konstruktionsplan CNC-gefräste Aluminium- Prüfobjekte zum Einsatz. Die Prüfobjekte waren mit je vier Messpfeilern versehen und stellten ein auf die vier Stützzonen im menschlichen Gebiss reduziertes stilisiertes Modell dar. Die gleichgeschalteten Artikulatoren wurden mit einer elektronisch modifizierten Universal- Mess- Maschine (UMM) der Firma Carl Zeiss Jena auf horizontale und vertikale Abweichungen untersucht. Die gemessenen Abweichungen innerhalb eines Artikulatorenpools lassen sich an den entsprechenden Mess-Stellen anhand eines Streubereiches darstellen.

Je geringer die Streuung an den einzelnen Mess-Stellen ausfällt, desto genauer und maßhaltiger ist die Gleichschaltung.

Zur Überprüfung kam das bereits in vorangegangenen Studien als hochpräzises Gleichschaltungssystem analysierte Splitexsystem zusammen mit dem Artikulator Artex TK der Firma Amann Girrbach. Die Gleichschaltung der Artikulatoren ist auf zwei unterschiedliche Arten durchführbar, die beide hinsichtlich ihrer Maßhaltigkeit untersucht wurden. Des Weiteren stand ein bereits in Gebrauch befindlicher Artikulatorenpool der Firma Amann Girrbach zur Verfügung, der im Vergleich zu dem fabrikneuen Artikulatorenpool Rückschlüsse auf die Veränderungen der Gleichschaltung im Laufe einer Gebrauchsperiode zulässt. Als weiteres Gleichschaltungssystem kam das vom Hersteller IML als universell einsetzbar angepriesenes Split-Set-System mit dem ebenfalls universellen Artikulator Arti S4 zum Einsatz. Das Split-Set-System wurde sowohl zur Gleichschaltung des Arti S4- Artikulatorenpools als auch zur Gleichschaltung des Artex TK- Artikulatorenpools verwendet, um dessen universelle Einsetzbarkeit zu überprüfen. Desgleichen wurde auch der Arti S4- Artikulatorenpool mit dem Splitexsystem gleichgeschaltet und ebenfalls untersucht.

Im Rahmen dieser Studie konnten Genauigkeitsabweichungen ermittelt werden, mit denen die einzelnen Artikulatoren des untersuchten Artikulatorenpools durchschnittlich um einen Optimalwert schwanken. Diese Genauigkeitsabweichung kann wie folgt beziffert werden:

Die größte Ungenauigkeit ist in dem Artikulatorenpool --Artex TK mit Splitexsystem gebraucht-- mit einem Wert von $\pm 0,55611458$ mm zu finden. Der entsprechende Artikulatorenpool --Artex TK mit Splitexsystem fabrikneu-- weist eine Genauigkeitsabweichung von $\pm 0,038950694$ mm auf.

Die Artikulatoren --Arti S4 mit Splitexsystem fabrikneu-- weisen dagegen eine wesentlich größere Genauigkeitsabweichung von $\pm 0,53160764$ mm auf.

Dagegen tritt bei der Gruppe --Arti S4 mit Split-Set-System fabrikneu-- eine wesentlich bessere Präzision mit einer Abweichung von $\pm 0,027118056$ mm auf.

Die systemeigene Kombination der Gruppe --Arti S4 mit Split-Set-System fabrikneu-- liegt mit einer Genauigkeitsabweichung von $\pm 0,29590972$ mm nur knapp darüber, aber immer noch innerhalb der Toleranzgrenze von 0,03 mm.

Im direkten Vergleich der verschiedenen Gleichschaltungsmethoden und -systeme untereinander wiesen alle signifikante Unterschiede in einzelnen verschiedenen Messpunkten auf.

Es hat sich gezeigt, dass die optimalsten Werte der Artikulator --Artex TK mit Splitexsystem und Justagekleber fabrikneu-- mit einer Genauigkeitsabweichung von $\pm 0,015178819$ mm erzielte.

2 Einleitung

Die Passgenauigkeit von feststehendem Zahnersatz wird in der Literatur ausgiebig diskutiert. Ein Konsens besteht in der Forderung nach exaktem Randschluß Bernstein, A. et al. 1990. Untersuchungen zur Paßgenauigkeit von Teilkronen mit unterschiedlicher Gestaltung des Präparationsrandes. In: ZWR, 99. Jahrgang 1990, Nr. 1; Kordaß, B. und Schrader, U.1990. Nachuntersuchung zur Paßgenauigkeit von Kronen, die im Phantomkopf unter praxisnahen Bedingungen hergestellt wurden. In: ZWR, 99 Jahrgang 1990, Nr.2; Matigioni, M. 1990 Präzision und Kronenkontur in der restaurativen Zahnheilkunde. Quintessenz Verlags GmbH.

In der zahnärztlichen Praxis nimmt die Versorgung mit prothetisch restaurativen Arbeiten einen wesentlichen Teil der praktischen Tätigkeit ein. Vor allem bei der Fertigung dieser Restaurationen im Dentallabor und der anschließenden Eingliederung der prothetischen Therapiemittel am Patienten steht schnelles, effektives und kostengünstiges Arbeiten im Vordergrund. (Johannsen et al., 1989; Amon, 1999; Börkircher, 1999)

Als Grundbaustein der Qualitätssicherung hat das Qualitätsmanagement im medizinischen Bereich einen stetig wachsenden Stellenwert.

Es dient als Querschnittsdisziplin der Analyse, Prüfung, Beurteilung und Qualitätsregelung materieller und immaterieller Produktions- und Dienstleistungsprozesse. (Linß, G. 2002)

Der Patient rechnet in jedem Fall mit einer Versorgung, die seine Erwartungen hinsichtlich Funktionalität, Ästhetik, Fehlerfreiheit und Sicherheit erfüllt, kann dies jedoch im Vorfeld der Behandlung nicht prüfen. Willigt der Patient in eine zahnärztliche Versorgung ein, stellt dies von seiner Seite einen gegebenen Vertrauensvorschuss dar, da er selbst keine Gewähr für eine gleich bleibende Qualität der Versorgung hat.

Abhilfe kann hier das Qualitätsmanagement schaffen, das durch eine Zertifizierung nach DIN EN ISO 9001, 9002 oder 9003 nachweisbar ist.

Die ISO 9001 enthält dabei die Anforderungen an eine Qm-System-Darlegung, die den gesamten Produktlebenszyklus umfasst. Die Anforderungen der ISO 9002 beinhalten den gesamten Produktlebenszyklus außer Design und Entwicklung und die ISO 9003 bezieht sich lediglich auf die Endprüfung.

Im Rahmen dieses Qualitätsmanagements sind neben den vertrauensbildenden Maßnahmen zwischen Behandler und Patient Verbesserungen der innerbetrieblichen Abläufe und der Dokumentation sowie Entlastungen im Produkthaftungsfall als positive Aspekte anzuführen.

Von großer Bedeutung für die Qualitätssicherung im zahnärztlichen Bereich ist die optimale Passgenauigkeit prothetischer Restaurationen bereits auf den Meistermodellen im Artikulator. Um diese außerhalb des Patientenmundes zu garantieren, werden aufwendig gefertigte, äußerst präzise Kiefergelenksimulatoren (Artikulatoren) angeboten. Sie ermöglichen, die craniomandibuläre Situation des einzelnen Patienten variabel im Gerät einzustellen und dadurch eine möglichst originalgetreue Simulation der bestehenden Mundsituation nachzuahmen. Dies ist umso wichtiger, wenn man bedenkt, dass durch mangelnde Passgenauigkeit die Funktionsfähigkeit und Haltbarkeit einer hochspezialisierten prothetischen Versorgung sehr ungünstig beeinflusst wird.

Technisch besteht bisher keine Möglichkeit, die optimale Präzision von prothetischen Restaurationen mikrometergenau zu erreichen. Daher gilt es insbesondere aus diesem Grund, eliminierbare Ungenauigkeitsfaktoren auszuschließen.

Das nachträgliche Anpassen und Einschleifen kostet sehr oft wertvolle Arbeitszeit, die ökonomisch nicht zu rechtfertigen ist. Mitunter wird auch die prothetische Restauration in ihrem Aufbau so stark verändert, dass sie u. a. durch unverhältnismäßigen Materialabtrag und eine nicht mehr korrigierbare Oberflächenänderung z. B. im Keramikbereich den hohen Ansprüchen eines qualitätsbewussten Behandlers nicht mehr gerecht werden kann.

Anhand einer metallkeramischen Brücke (Abbildung 1-3) soll dies beispielhaft verdeutlicht werden:

Die dokumentierte hochwertige Brückenkonstruktion lässt in der keramischen Verblendung einen diffizilen Schichtaufbau aus Opaker-, Dentin-, und Schmelzmasse erkennen, welcher für die optimale Transluzenz und Ästhetik von entscheidender Bedeutung ist.



Abb.1: Erste Schritte der keramischen Verblendung (Auftrag der Opakermasse)

Muss der Behandler bei einer okklusalen Korrektur keramische Masse abtragen, so geht dieser Materialabtrag zunächst zu Lasten der Schmelzmasse, welche aber beispielsweise einer Schneidekante ihr typisch lebendiges Aussehen verleiht. Im Extremfall scheinen Dentin und Opakermasse so stark durch, dass ein akzeptables ästhetisches Ergebnis nicht mehr erzielbar ist.

Wäre in der Phase der Herstellung einer solchen Arbeit die exakte Höhensituation bereits fixiert (optimale Einstellung der Modelle im Artikulator vorausgesetzt), könnte der geschulte Zahntechniker den Schichtaufbau der Dentalkeramik ohne eine nötige Nachbesserung am Patienten lebendig gestalten.

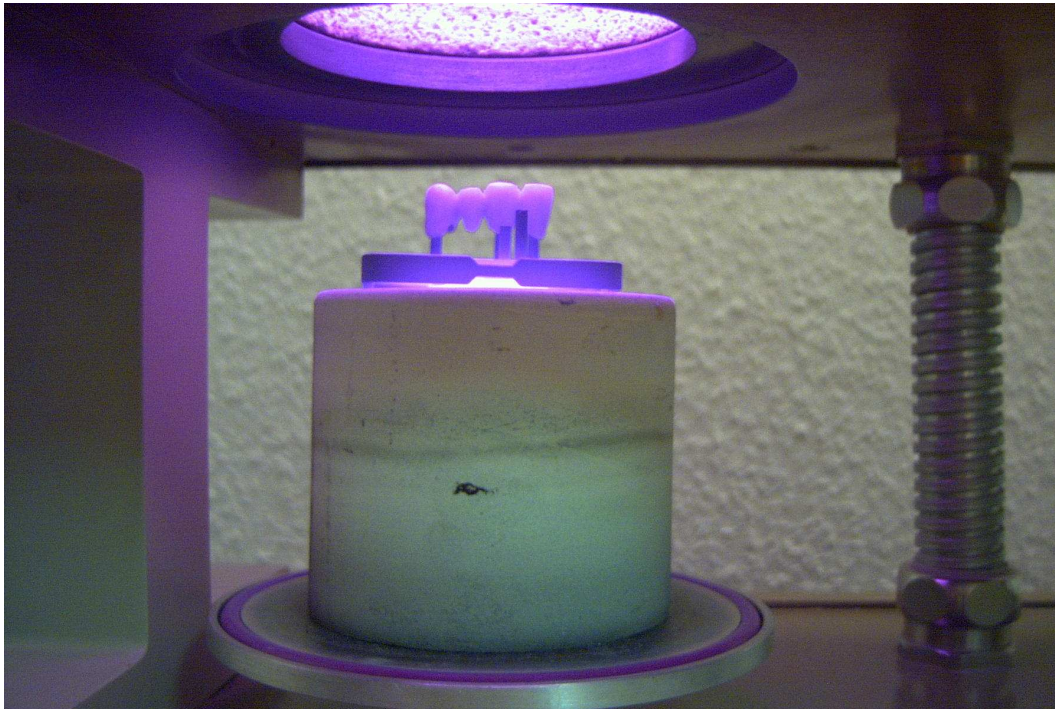


Abb.2: Keramisch verblendete Brücke nach dem Rohbrand im Vakuumbrennofen

Er würde im vorliegenden Falle nur so viel Dentinmasse auftragen, dass noch genügend Platz für die nachfolgende Schmelzmasse oder gar noch für weitere Effektmassen (z.B. Nachempfindung von Schmelzsprünge oder Kalkflecken) bleibt.



Abb.3: Intraoralsituation nach Eingliederung der dentalkeramisch verblendeten Brücke

Bei vollkeramischen Arbeiten ist der Einschleifvorgang am Patienten wesentlich kritischer zu betrachten, da hier das stabilisierende Metallgerüst fehlt. Jeder noch so kleine Materialabtrag birgt nicht nur Nachteile für die Ästhetik, sondern in weitaus größerem Maße für die Stabilität, was letztendlich häufig zu einem Bruch und somit zu einem Totalverlust der Restauration führt.

Dies verdeutlicht, wie wichtig die optimale Einstellung der Modelle nach der tatsächlichen Mundsituation im Artikulator ist.

Im zahnmedizinischen Sinne sind Artikulatoren Geräte, die Kiefer und Kiefergelenke mit mechanischen Elementen nachvollziehen. (Bauer und Gutowski 1978; Celenza 1979; Fuhr und Reiber 1985; Koeck 1989; Rugh und Johnson 1988; Suvin 1982)

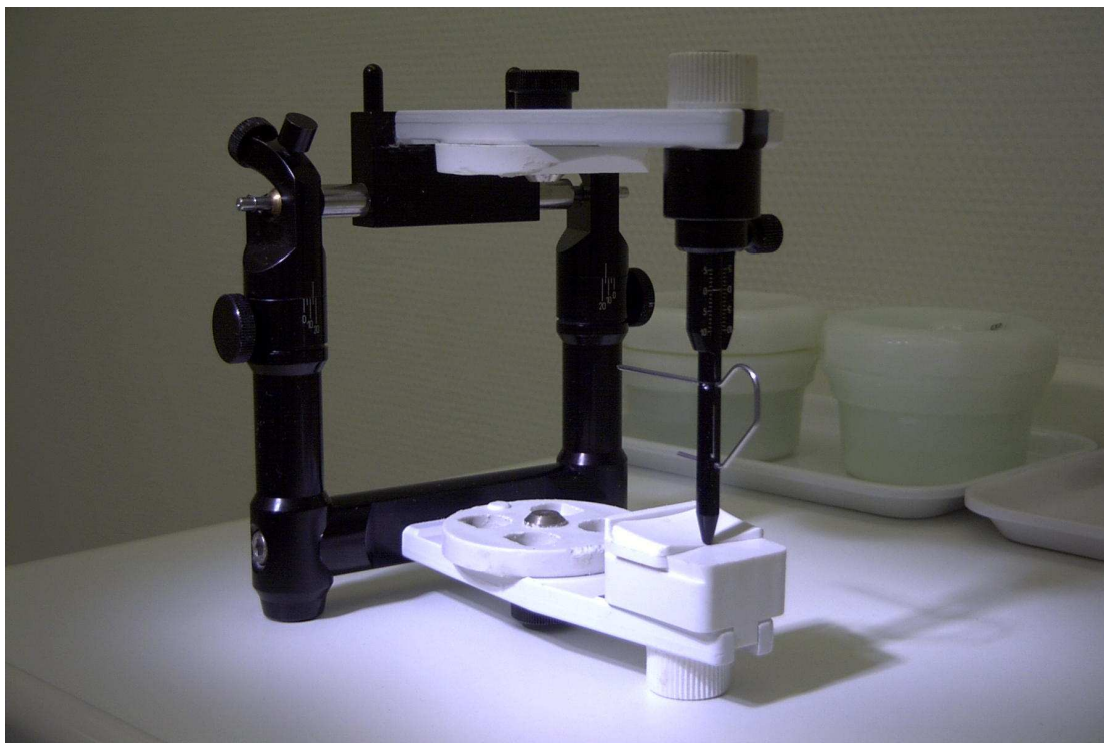


Abb.4: Halbindividuell verstellbarer Nonarconartikulator Artex NK der Firma Amann Girrbach

Sie dienen zur Sicherung der statischen Lagebeziehung beider Kiefer zueinander sowie zur Simulation der dynamischen Bewegungen der Kiefergelenke und des Unterkiefers. (Bauer und Gutowski 1978; Celenza

1979; Fuhr und Siebert 1981; Fuhr und Reiber 1985; Hoffmann-Axthelm 1992; Kamann 1998 Koeck 1989; Körber 1987; Lejoyeux 1976; Rugh und Johnson 1988; Suvin 1982)

Einsatz finden diese Artikulatoren ebenso in der so genannten Funktionsanalyse, also zu diagnostischen Zwecken und, wie bereits erwähnt, in der Labortechnologie von Zahnersatz. (Körber 1987; Rugh und Johnson 1988; Suvin 1982)

Im Hinblick auf die Sicherung der Qualitätsstandards ist es für den Behandler von ausschlaggebender Bedeutung, bereits vor der Eingliederung eines Zahnersatzes dessen Passgenauigkeit zuverlässig einschätzen zu können.

Die Anschaffung solcher hochwertig und filigran gearbeiteter technischer Geräte stellt einen erheblichen Kostenfaktor dar. Wird für jede anzufertigende Arbeit ein eigener Artikulator eingesetzt, wäre die dadurch entstehende finanzielle Belastung sowohl für das zahntechnische Labor als auch für den Behandler nicht tragbar. Daher bieten renommierte Artikulatorenhersteller so genannte *Gleichschaltungssysteme* an, mit deren Hilfe fertigungsbedingte Toleranzen der einzelnen Artikulatoren untereinander ausgeglichen werden sollen.

Nach Herstellerangaben gewährleistet die Gleichschaltung eines Artikulatorenpools (Abstimmung sowohl innerhalb eines Dentallabors als auch mit der zahnärztlichen Praxis) eine uneingeschränkte Übertragbarkeit aller Modelle untereinander, unabhängig vom primär eingesetzten Artikulator. Gerade die problemlose Übertragbarkeit der Modelle in einen anderen Artikulator sorgt für die Lösung des logistischen Problems, welches durch den notwendigen Transport der Restauration während des gesamten Fertigungsprozesses zwischen Labor und Praxis auftritt.

3 Zielstellung

Fast jeder derzeit auf dem Dentalmarkt befindliche Artikulatorenhersteller bietet zu seinen Produkten entsprechende Gleichschaltungssysteme an. Diese Hilfsmittel sollen es Zahnarzt und Zahntechniker ermöglichen, die Arbeiten in verschiedenen Artikulatoren passgenau zu repositionieren. Das Ziel dieser Arbeit ist es, anhand von bestimmten standardisierten Vergleichspunkten auf gefrästen Prüfkörpern festzustellen, inwieweit sich ein Positionsunterschied der Prüfkörper in verschiedenen Artikulatoren bemerkbar macht.

Hierzu wurden die Abweichungen in der vertikalen sowie der horizontalen Raumebene gemessen und innerhalb einer gleichgeschalteten Serie von sieben Artikulatoren verglichen.

Untersucht wurde der Einfluss der zur Gleichschaltung verwendeten Materialien auf die zu erwartende Genauigkeit der Gleichschaltung.

Ebenso wurde der Einfluss einer Gebrauchsperiode von zwei Jahren auf die Genauigkeit der Gleichschaltung überprüft.

Im experimentellen Versuchsabschnitt stand diesbezüglich die Konstruktion eines Standardprüfkörpers im Vordergrund, der sowohl optisch als auch mechanisch vermessbar sein sollte.

Der Prüfkörper sollte in einer Messreihe durchgängig Verwendung finden, um Herstellungstoleranzen vernachlässigen zu können.

Des Weiteren durfte dieser Prüfkörper selbst keinen Dimensionsänderungen unterliegen.

Die ermittelten Werte sollten eine Toleranzgrenze von 0,0250 mm nicht überschreiten, um pathologische Auswirkungen durch Frühkontakte auf den Organismus zu vermeiden.

4 Material und Methode

4.1 Artikulatorarten und Gleichschaltungssysteme

In dieser Studie kamen die Gleichschaltungssysteme zweier Firmen zum Einsatz.

Die Wahl fiel dabei auf das bereits in vorangegangenen Studien als hochpräzise gewürdigte und auch weit verbreitete Splitexsystem der Firma Amman Girrbach, das in der ersten Version mit Pattern Resin der Firma Fuji im Artikulator fixiert wurde. In der zweiten Version wurden die Splitexplatten mit einem von Girrbach speziell angebotenen Locktite Metallkleber fixiert.



*Abb.5: Artikulator Artex TK mit Gleichschaltungsschlüssel (links),
Gleichschaltungsschlüssel über einartikulierte Modelle projiziert (rechts)*



Abb.6: Artikulator Artex TK

Als weiteres System kam das von IML als universell einsetzbares, nicht systemgebundenes Split-Set Gleichschaltungssystem zur Auswahl, welches mit Superhartgips der Klasse IV fixiert wurde. Es ist zu diesem Zweck der Gips Sheramaximum 2000 der Firma Shera verwendet worden.



Abb.7: Artikulator Arti S4 mit Split-Set- Platten (IML) sowie Splitexplatten (Amann Girrbach) im Hintergrund

Dieser Fixationsgips wurde im Verhältnis 100 zu 20 mit dreifach destilliertem Wasser 45 Sekunden unter Vakuum angerührt.

Das Split-Set ist ein, wie die Firma IML angibt, universell einsetzbares Gleichschaltungssystem, mit dem baugleiche und bauungleiche Artikulatoren in ihrer Arbeitshöhe bei Einhaltung höchster Präzision gleichgeschaltet werden können.

Der in der Vergleichsstudie untersuchte Artikulatorenpool setzte sich aus jeweils sieben gebrauchten, bereits gleichgeschalteten Artikulatoren Artex TK der Firma Amman Girrbach, sieben fabrikneuen, zu diesem Zweck gleichgeschalteten Artikulatoren Artex TK der Firma Amann Girrbach und sieben fabrikneuen Artikulatoren S 4 der Firma IML zusammen.

4.1.1 Gebrauchte Artikulatoren Artex TK mit Splitexsystem

Die gebrauchten Artikulatoren (sieben Stück) wurden aus dem Studentenlabor der Friedrich-Schiller-Universität Jena nach einer Gebrauchsperiode von zwei Jahren ab Gleichschaltung mit dem Splitexsystem und Pattern Resin in zufälliger Reihenfolge entnommen. Sie stellen somit eine aussagekräftige Artikulatorengruppe dar, die Rückschlüsse auf die nutzungsbedingten Veränderungen in der Genauigkeit der Gleichschaltung zulässt.

4.1.2 Fabrikneue Artikulatoren Artex TK mit Splitexsystem

Die sieben fabrikneuen Artikulatoren Artex TK nach der herkömmlichen von Amann Girrbach vorgeschlagenen Variante unter Verwendung des Autopolymerisates Pattern Resin von Fuji gleichgeschaltet worden.

4.1.3 Fabrikneue Artikulatoren Artex TK mit Split-Set- System

Hierbei wurden sieben fabrikneue Artikulatoren Artex TK mit dem Split-Set- System der Firma IML gleichgeschaltetet. Hierbei kam der in seinen Eigenschaften bereits beschriebene Superhartgips Scheramaximum 2000 zum Einsatz.



Abb.8: Artikulator Artex TK (Amann Girrbach) mit Split-Set (IML)

4.1.4 Fabrikneue Artikulatoren Artex TK mit Splitexsystem und Justagekleber

In dieser Serie wurden die fabrikneuen Artikulatoren Artex TK wieder mit den Splitexplatten der Firma Amann Girrbach, aber diesmal unter Zuhilfenahme des Splitex-Justageklebers, der aktuellen, von Girrbach vorgeschlagenen Gleichschaltungsvariante, gleichgeschaltet.

4.1.5 Fabrikneue Artikulatoren Arti S4 mit Splitexsystem

Die Artikulatoren Arti S 4 der Firma IML wurden zur Überprüfung von deren Universalität mit den Splitexplatten der Firma Amann Girrbach unter Verwendung des Autopolymerisates Pattern Resin der Firma Fuji gleichgeschaltet.



Abb.9: Artikulatoren Arti S4 (IML links) mit Splitexplatte (Amann Girrbach rechts) mit Split-Set- Platte (IML)

4.1.6 Fabrikneue Artikulatoren Arti S4 mit Split-Set- System

In diesem Studienabschnitt sind die Artikulatoren Arti S 4 der Firma IML mit dem Split-Set- System der Firma IML mit dem Superhartgips Scheramaximum 2000 gleichgeschaltet worden.

Dieser Superhartgips wurde hier aufgrund seiner spezifischen Eigenschaft, der für einen Gipswerkstoff der Klasse IV typischen hohen Dimensionsstabilität, ausgewählt.

Bereits bei der Gleichschaltung sollte ein etwaiger durch die Gipsexpansion entstehender Fehler so gering wie möglich gehalten werden. Dazu war unbedingt das vom Hersteller vorgeschriebene Gips-Wasser- Verhältnis und die Anrührzeiten genauestens zu beachten.

4.2 Prüfkörperherstellung

Zur Überprüfung der Genauigkeit der Gleichschaltung kamen speziell entworfene Prüfobjekte zum Einsatz, die in der Zentralwerkstatt der Friedrich-Schiller-Universität aus Aluminium gefräst wurden.

Die Unterseite der Prüfkörper lässt sich dabei jeweils selbstzentrierend und formschlüssig auf die im Artikulator befestigten Splitex- bzw.

Split-Set- Platten aufsetzen und wird durch die im jeweiligen System verwendeten Magneten gehalten.

Auf der Oberseite des Prüfkörpers sind jeweils vier Messpfeiler mit 10 mm Kantenlänge eingearbeitet, die sich mit einem Luftspalt gegenüberstehen.



Abb.10: Prüfkörper und Splitexplatten (Amann Girrbach im Hintergrund)

Diese vier Messpfeiler stellen die vier Stützzonen im menschlichen Gebiss dar, wobei zwischen den vorderen eine Distanz von 40 mm und zwischen den hinteren eine Distanz von 45 mm besteht, die den Zahnbogen nachvollziehen soll.

Auf diese Weise lassen sich Abweichungen in einer Genauigkeit mit Praxisbezug auf die Praxis messtechnisch erfassen und plausibel darstellen.

4.3 Vorversuchsreihe

4.3.1 Streifenprojektionsmessung

Zur Vermessung in der Vorversuchsreihe wurden die Prüfkörper im zu vermessenden Artikulator fixiert und in ein Streifenprojektionsgerät im

Messlabor der Fachhochschule Jena, Fachbereich Feinwerktechnik eingesetzt.

Mittels einer hochpräzisen optischen Projektionseinrichtung wurden in definierter Abfolge verschiedene hell- dunkel abgestufte Streifenmuster auf das zu vermessende Objekt projiziert.

Eine systemeigene Kamera nahm diese Bilder auf und leitete diese an den zugehörigen Rechner weiter.

Mit einer eigens vom Fraunhofer- Institut Jena entwickelten Software wurden die Daten verarbeitet und so ließen sich die erfassten dreidimensionalen Körper als digitale Punktwolke darstellen.

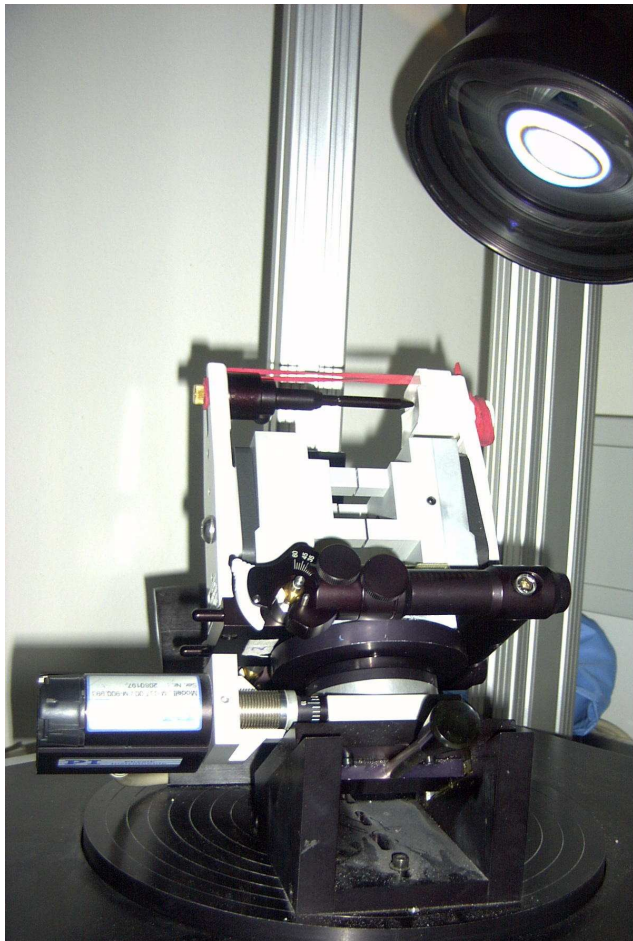


Abb.11: Artikulator Artex TK mit Splitexplatten (Amann Girrbach) und Prüfkörpern im Streifenprojektionsscanner

Mit einer entsprechenden Software wurde anschließend die so gewonnene Punktwolke ausgewertet. Dies ermöglichte, mit Hilfe des Computers Distanzen zu erfassen.

Nach einem mehrmaligen Scan eines Messkörpers fielen bei den auf rein elektronischem Wege gewonnenen Strecken erhebliche Abweichungen auf. Da eine Vertikaldistanz der Messkörper auch durch konventionelle Messmethoden, z.B. mit einem Endmaß (auf eine bestimmte Stärke geeichter Metall oder Keramikkörper), zu kontrollieren sind, konnten die ermittelten Werte auch auf diese Weise überprüft werden. Die Messergebnisse wiesen Streuungen von 0,5 mm auf.

Die erforderliche Genauigkeit ließ sich allerdings auch nicht durch Veränderungen im Versuchsaufbau erzielen.

Somit erwies sich die 3D- Streifenprojektion für diese Messreihe als ungeeignet.

4.3.2 Vermessung mit der Zeiss Jena Universal Messmaschine (UMM)

In einer weiteren Vorversuchsreihe wurde dazu übergegangen, die Prüfkörper mit Hilfe einer Zeiss Jena Universal Messmaschine (UMM) abzutasten.



Abb.12: Artikulator Artex TK mit Splitexplatten (Amann Girrbach) und Prüfkörpern in der UMM (Zeiss Jena)

Die UMM ist in der Grundversion als zweidimensionale elektromechanische Messmaschine konzipiert, die für einen Teil der erforderlichen Messungen durch ebenfalls elektromechanische Feinmessgeräte zur Messung der dritten. Dimension nachgerüstet wurde.



Abb.13: Artikulator Artex TK mit Splitexplatten (Amann Girrbach) und Prüfkörpern in der UMM (Zeiss Jena) mit installiertem Höhentaster

Die mit dieser UMM erzielten Messergebnisse zeichneten sich durch höchste Genauigkeit und Konstanz aus, die sich durch mehrmaliges Vermessen und ebenfalls durch die Überprüfung mit Hilfe der Endmaße bestätigten.

Es konnte somit eine überprüfbare Aussage zum horizontalen Versatz der Prüfkörper zueinander durch die mechanische Antastung getroffen werden.

Mittels der mikroskopischen, optischen Messeinrichtung und der eigens für die Untersuchung angefertigten bernsteinfarbenen Hintergrundbeleuchtung war eine klare Aussage hinsichtlich der vertikalen Lage der Prüfkörper zueinander möglich.

Alle Messungen wurden in einem temperierten Feinmessraum bei 21°C und konstanter Luftfeuchte durchgeführt.

4.4 Prüfparameter

Sinn und Zweck einer Gleichschaltung von Artikulatoren ist die in geringen Toleranzen reproduzierbare Einstellung einer Modellsituation in zwei oder mehreren Artikulatoren. Dabei ist durchaus nicht nur der Vertikalabstand, sondern auch der Horizontalabstand von großer Bedeutung.

Daher ergab sich die Anforderung, die Genauigkeit der Gleichschaltung in allen drei Raumebenen zu erfassen.

Zu diesem Zweck ist die vertikale Abweichung der aufeinander zeigenden Messpfeiler der Prüfkörper durch eine Streckenmessung ermittelt worden.

Die horizontale Abweichung wurde folgendermaßen erfasst:

Der Artikulator wurde mit beiden installierten Prüfkörpern bestückt und so in die UMM eingestellt, dass die Messpfeiler von vorne und dann jeweils von beiden Seiten angetastet werden konnten.

Dazu wurde der Artikulator auf dem Prüftisch so justiert, dass jeweils der Prüfkörper des Oberkiefers in der Horizontalebene lag.

Nun wurden Prüfpunkte an den Ecken der Messpfeiler und ihre auf dem gegenüberliegenden Prüfkörper befindliche Korrelate jeweils drei Mal angefahren und angetastet.

Die so erhaltenen Werte sind gemittelt worden und zeigen die Laterotrusionsabweichungen, die Protrusionsabweichungen und die Bisshebung bzw. Bissenkung an allen vier Quadranten auf.

4.5 Statistische Analyse

In der Messtechnik werden durch den Anwender und durch Toleranzen der Messgeräte Fehler bzw. Ungenauigkeiten in die einzelnen Messergebnisse

integriert. Diese Messfehler können sich im ungünstigsten Fall addieren, aber im günstigsten Fall auch auslöschen.

Um den zufälligen Fehler möglichst klein zu halten, bedarf es einer mehrmaligen Wiederholung der einzelnen Messungen. Dabei entsteht ein Verteilungsbild mit einer zentralen Gruppe, um die die Ergebnisse streuen. (Toutenburg et al., 1991)

In diesem Fall wurden die einzelnen Messungen dreimal wiederholt.

Zur Beschreibung der Zentrumslage der Messwerte berechnet man das arithmetische Mittel \bar{X} .

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

x_i = Einzelwert

n = Anzahl der Messungen

Die Streuung der Einzelwerte um den Mittelwert wird durch die mittlere quadratische Abweichung angegeben. Diese wird als Varianz bezeichnet.

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n x_i\right)^2}{n}}{n-1}$$

Die Wurzel der Varianz gibt die Streuung bzw. Standardabweichung an.

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n x_i\right)^2}{n}}{n-1}}$$

Um statistisch gesicherte Aussagen über die Unterschiede zweier zu vergleichenden Meßreihen treffen zu können, bedarf es einer Signifikanzprüfung.

In dieser Untersuchung kam der t- Test zum Einsatz.

Dieser wird durch die folgende Formel berechnet:

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{(n_1 - 1) * (n_2 - 1) * s_1^2 + s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}}} * \sqrt{\frac{n_1 * n_2}{n_1 - n_2}}$$

\bar{x}_1 = Mittelwert der Messreihe 1

\bar{x}_2 = Mittelwert der Messreihe 2

s_1^2 = Varianz der Messreihe 1

s_2^2 = Varianz der Messreihe 2

n_1 = Anzahl der Einzelwerte der Messreihe 1

n_2 = Anzahl der Einzelwerte der Messreihe 2

In der vorliegenden Arbeit wurde die Berechnung des t-Testes mit MS Excel durchgeführt.

Dabei wurde die Irrtumswahrscheinlichkeit mit 5% definiert.

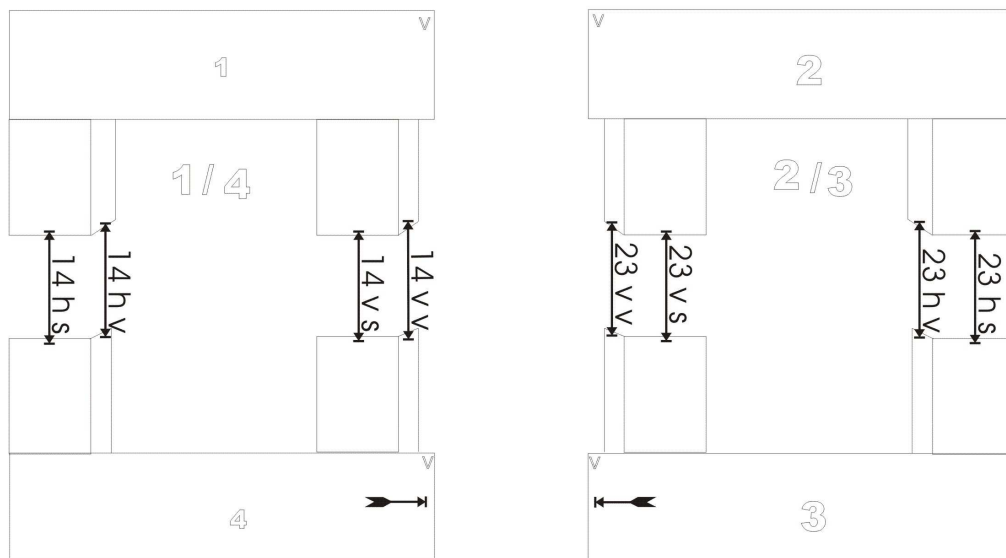
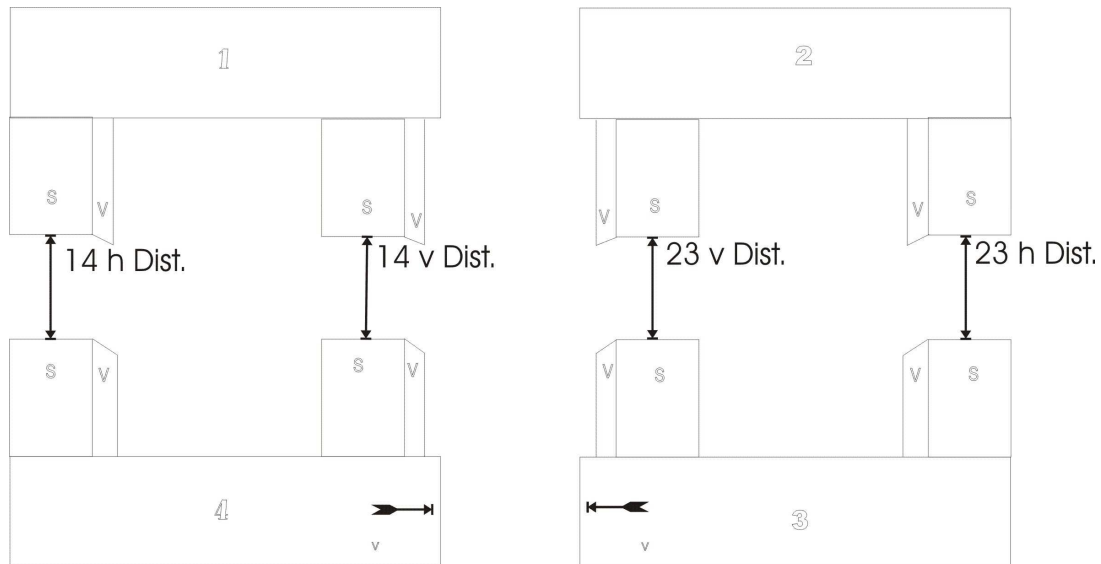
Daraus ergibt sich für $p > 0,05$ kein signifikanter Unterschied und für $p < 0,05$ ein signifikanter Unterschied der verglichenen Messreihen.

5. Ergebnisse

5.1 Experimentelle Studie

5.1.1 Messpunkterfassung

Die folgenden Abbildungen zeigen Messgrafiken, welche die jeweils angefahrenen Messpunkte graphisch verdeutlichen.



Seitenansicht

Abb.14: Darstellung der einzelnen Messpunkte schematisch

5.1.2 Messergebnisse --Gebrauchte Artikulatoren Artex TK mit Splitexsystem--

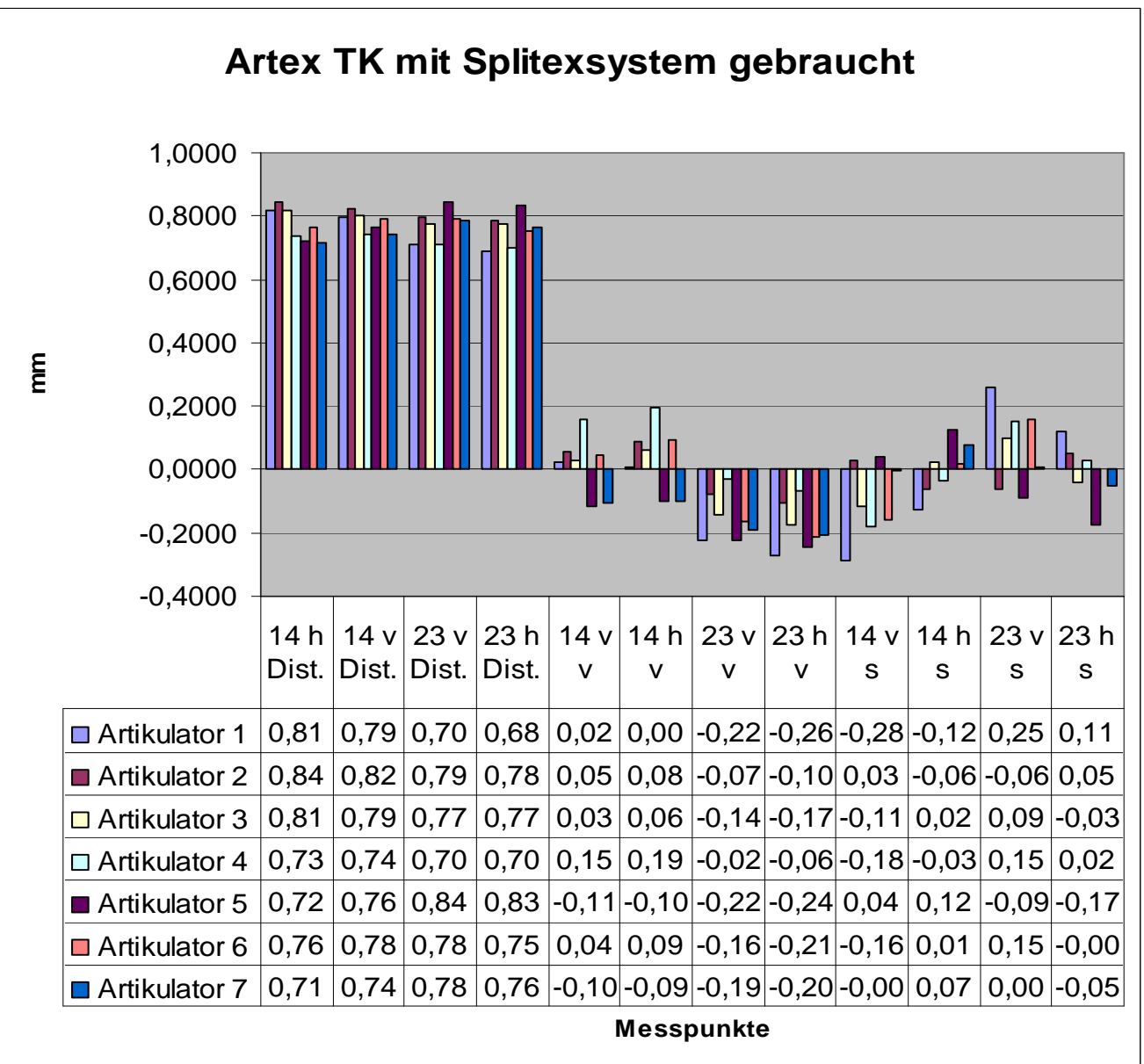


Abb. 15: Vergleich der Messwerte innerhalb der Artikulator-Serie: Gebrauchte Artikulatoren Artex TK mit Splitexsystem

Die Abbildung verdeutlicht das Ausmaß der Streuung der Messwerte an entsprechend ausgewählten Messpunkten dieser Serie.
 Diese Artikulator-Serie wurde bereits zwei Jahre vor der vorliegenden Studie gleichgeschaltet und war seitdem im Studentenlabor der Friedrich-Schiller-Universität Jena in Benutzung. Zur Fixierung der Gleichschaltung

kam das bisher übliche Verfahren unter Zuhilfenahme des Autopolymerisates Pattern Resin der Firma Fuji zum Einsatz.

Innerhalb der Artikulator- Serie sind die Messwerte zu einem Standardvergleichswert für die Serie --Gebrauchte Artikulatoren Artex TK mit Splitexsystem-- gemittelt und die Abweichungen um die jeweiligen Messpunkte graphisch dargestellt worden.

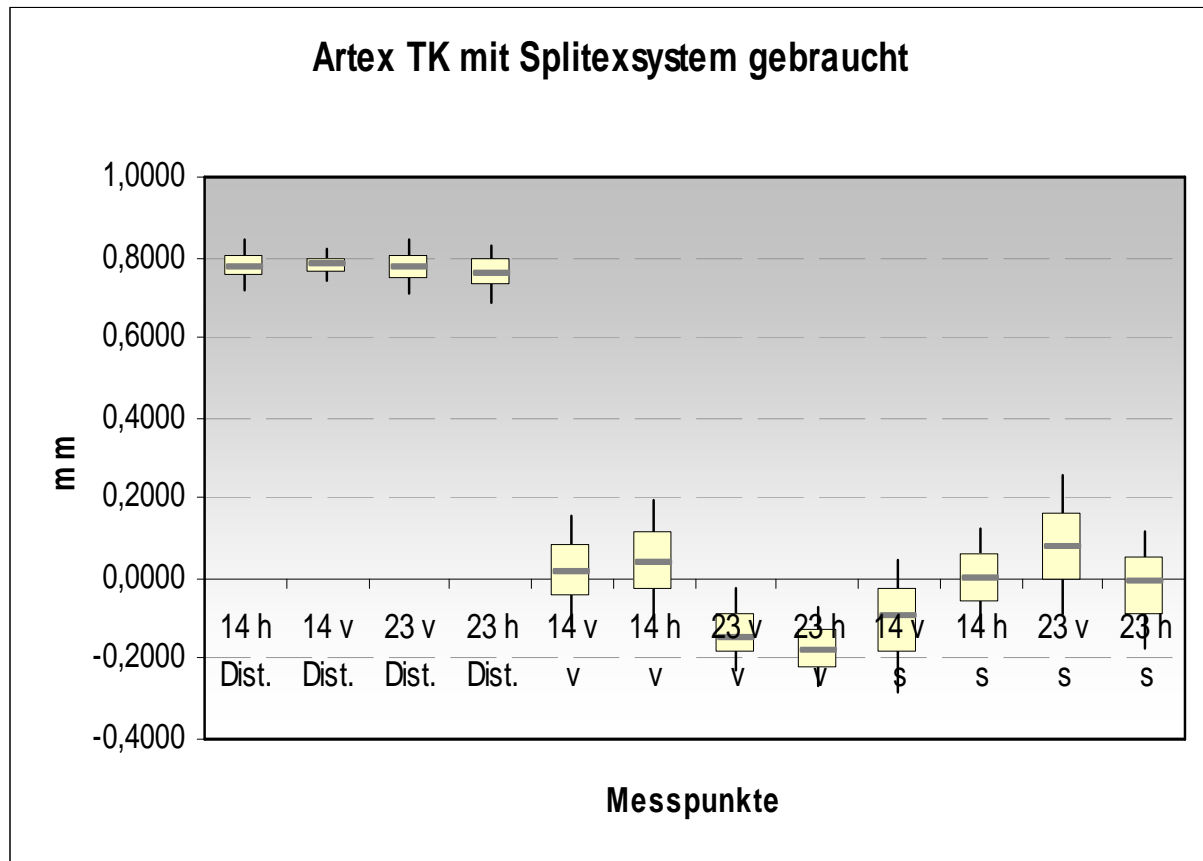


Abb.16: Darstellung der Streubereiche um die Messpunkte innerhalb der Artikulator- Serie --Gebrauchte Artikulatoren Artex TK mit Splitexsystem--

Dementsprechend lässt sich für diese Artikulator- Serie ein maximaler durchschnittlicher Streubereich von 0,2224 mm errechnen.

Ein praktisch aussagekräftiger durchschnittlicher Streubereich ergibt sich aus dem Mittel der durchschnittlichen Bandbreite zwischen oberem und unterem Streuquartil. Dieser Wert beträgt 0,1112 mm.

Somit ist festzuhalten, dass die Genauigkeit der Gleichschaltung um einen Wert von durchschnittlich **+ - 0,0556 mm** schwankt.

5.1.3 Messergebnisse --Fabrikneue Artikulatoren mit Splitexsystem--

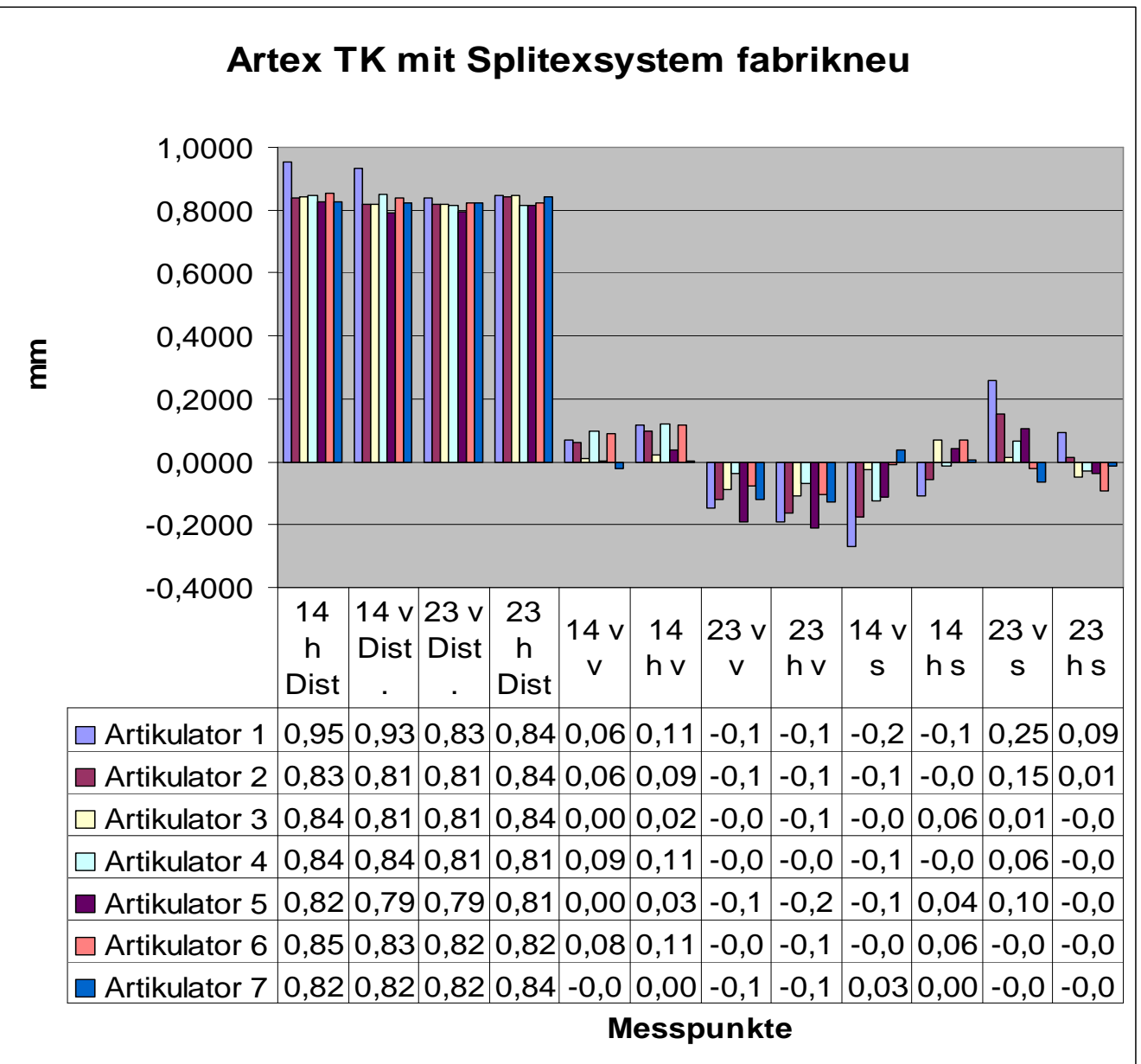


Abb.17: Vergleich der Messwerte innerhalb der Artikulator- Serie --Fabrikneue Artikulatoren Artex TK mit Splitexsystem--

Die Abbildung 17 veranschaulicht die immer noch deutlich erkennbare Streuung um die einzelnen Messpunkte, die jedoch geringer ausfällt als bei Artex TK mit Splitexsystem gebraucht.

In der vorliegenden Serie (Abb.17) wurden ebenfalls die Artikulatoren Girschbach TK verwendet und unter Einsatz von Pattern Resin

gleichgeschaltet. Der Unterschied liegt dabei darin, dass alle Teile in fabrikneuem Zustand gleichgeschaltet wurden und somit keine Gebrauchsphase vorlag. Anhand der so gewonnenen Messergebnisse lässt sich im Vergleich zur Serie gebrauchter Artikulatoren ein direkter Rückschluss ziehen, inwieweit sich die Gleichschaltung im normalen Alltagsgebrauch innerhalb der definierten Zeit von zwei Jahren verändert. Die ermittelten Werte können zu einem Standardvergleichswert für die Serie --Fabrikneue Artikulatoren Artex TK mit Splitexsystem-- zusammengefasst und die Abweichungen um die jeweiligen Messpunkte graphisch dargestellt werden.

Zu erkennen sind die Minimal- und Maximalwerte sowie der Mittelwert (grauer Balken) und oberes und unteres Streuquartil der einzelnen Messpunkte.

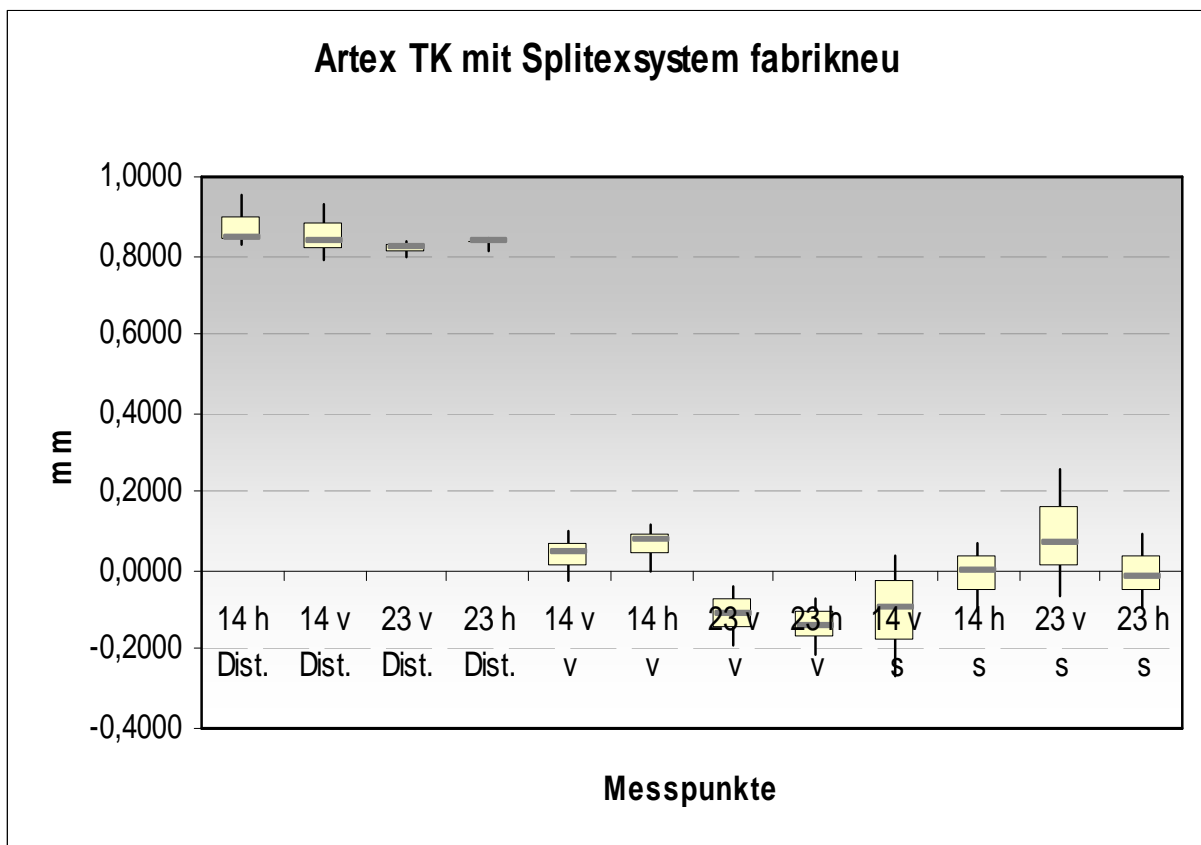


Abb.18: Darstellung der Streubereiche um die Messpunkte innerhalb der Artikulator- Serie -- Fabrikneue Artikulatoren Artex TK mit Splitexsystem--.

Hierbei lässt sich ein maximaler durchschnittlicher Streubereich von 0,1558 mm errechnen.

Der praktisch aussagekräftige Streubereich ergibt eine Bandbreite von 0,0779 mm zwischen oberem und unterem Streuquartil.

Die Genauigkeit der Gleichschaltung schwankt um durchschnittlich

+/-0,03895 mm.

5.1.4 Messergebnisse --Fabrikneue Artikulatoren Artex TK mit Split-Set-System—

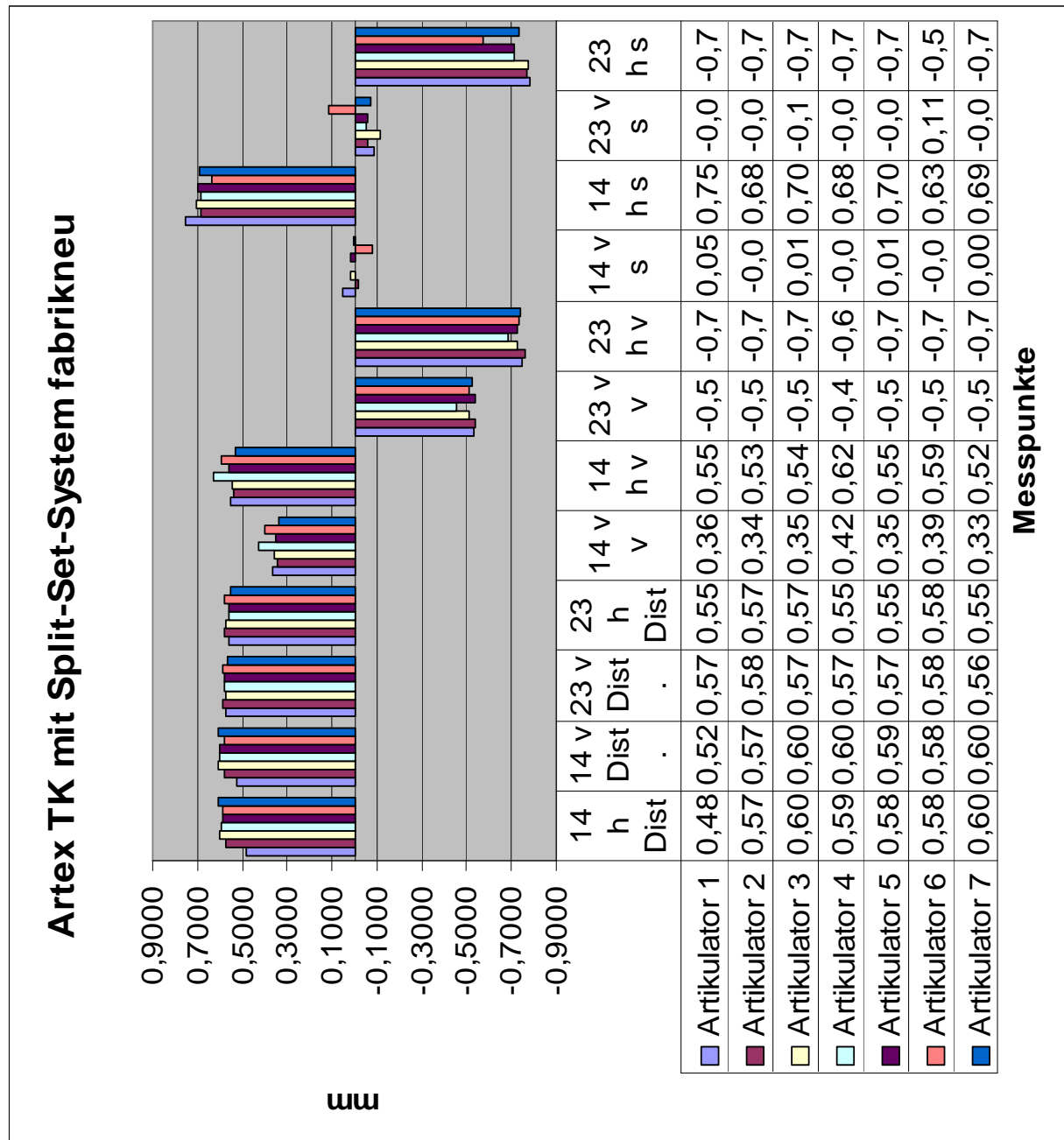


Abb.19: Vergleich der Messwerte innerhalb der Artikulator- Serie --Fabrikneue Artikulatoren Artex TK mit Split-Set-System—

In dieser Versuchsserie kamen die Artikulatoren vom Typ Artex TK der Firma Amann Girrbach zum Einsatz. Aus der Abbildung 19 geht hervor, dass die gemessenen Abweichungen der einzelnen Artikulatoren dieser Serie relativ nah beieinander liegen. Die Ergebnisse zeigen eine deutliche Genauigkeitsverbesserung gegenüber den Serien, die mit Hilfe der Pattern Resin- Verbindung gleichgeschaltet wurden. Die Artikulatoren dieser Serie

wurden mit dem als universell einsetzbares Gleichschaltungssystem geltenden Split-Set-System der Firma IML gleichgeschaltet.

Die Gleichschaltungsplatten des Systems bestehen jeweils aus einer Montageplatte, die mit dem Artikulatorober- bzw. -unterteil verschraubt wird, und aus einer den Modellsockel tragenden Modellplatte.

Zur Fixierung der beiden Platten kam ein weitestgehend dimensionsstabiler Superhartgips der Klasse IV zur Anwendung.

In diesem Zusammenhang wurden für die Artikulator- Serie --*Fabrikneue Artikulatoren Artex TK mit Split-Set-System*-- die folgenden graphisch dargestellten Standardvergleichswerte mit den jeweiligen Abweichungen um die einzelnen Messpunkte ermittelt.

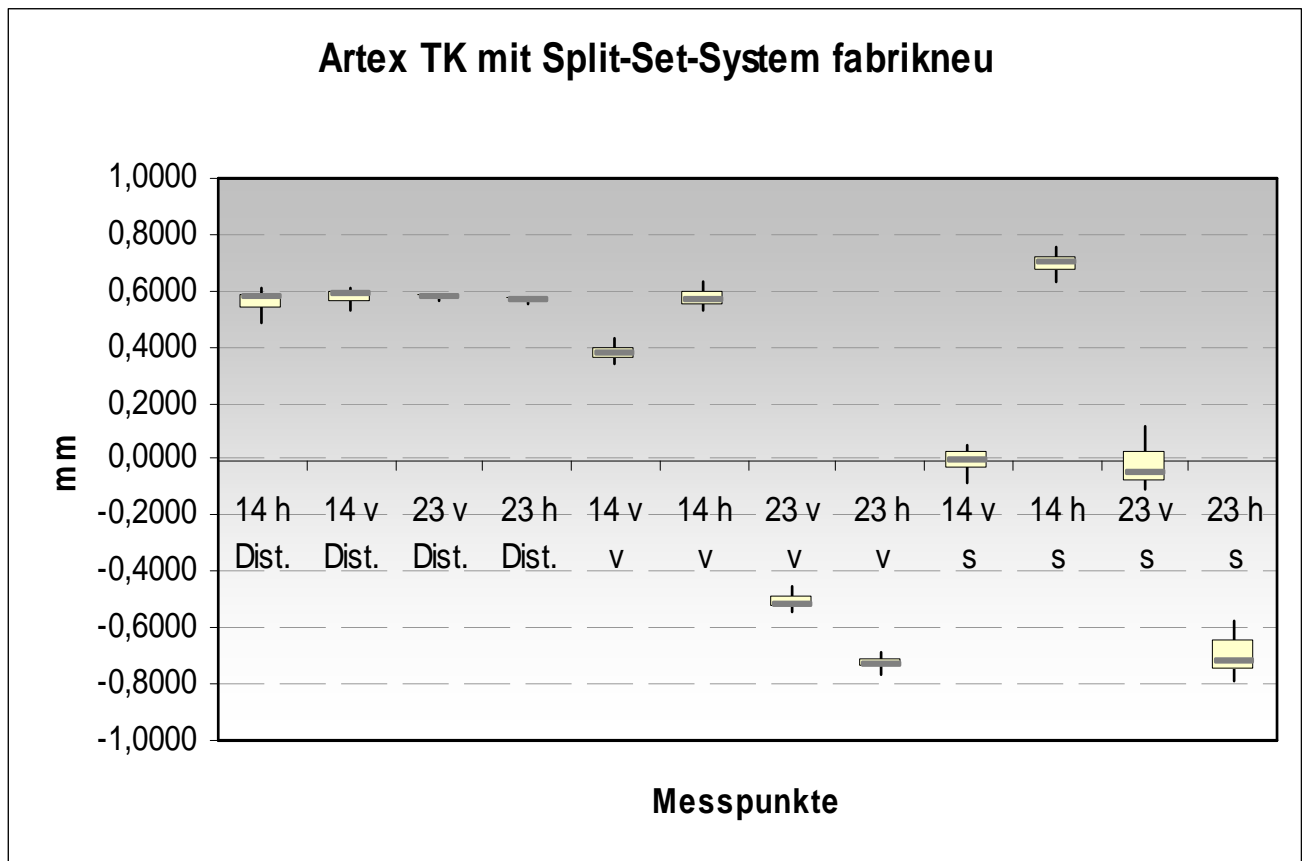


Abb.20: Darstellung der Streubereiche um die Messpunkte innerhalb der Artikulator- Serie -- *Fabrikneue Artikulatoren Artex TK mit Split-Set-System*--

Aus den gewonnenen Messwerten lässt sich für die Artikulator- Serie ein maximaler durchschnittlicher Streubereich von 0,1085 mm errechnen.

Der praxisrelevante Streubereich beträgt 0,0542 mm

Somit lässt sich festhalten, dass die Genauigkeit der Gleichschaltung um durchschnittlich **+ - 0,0271 mm** schwankt.

5.1.5 Messergebnisse --Fabrikneue Artikulatoren mit Splitexsystem und Justagekleber--

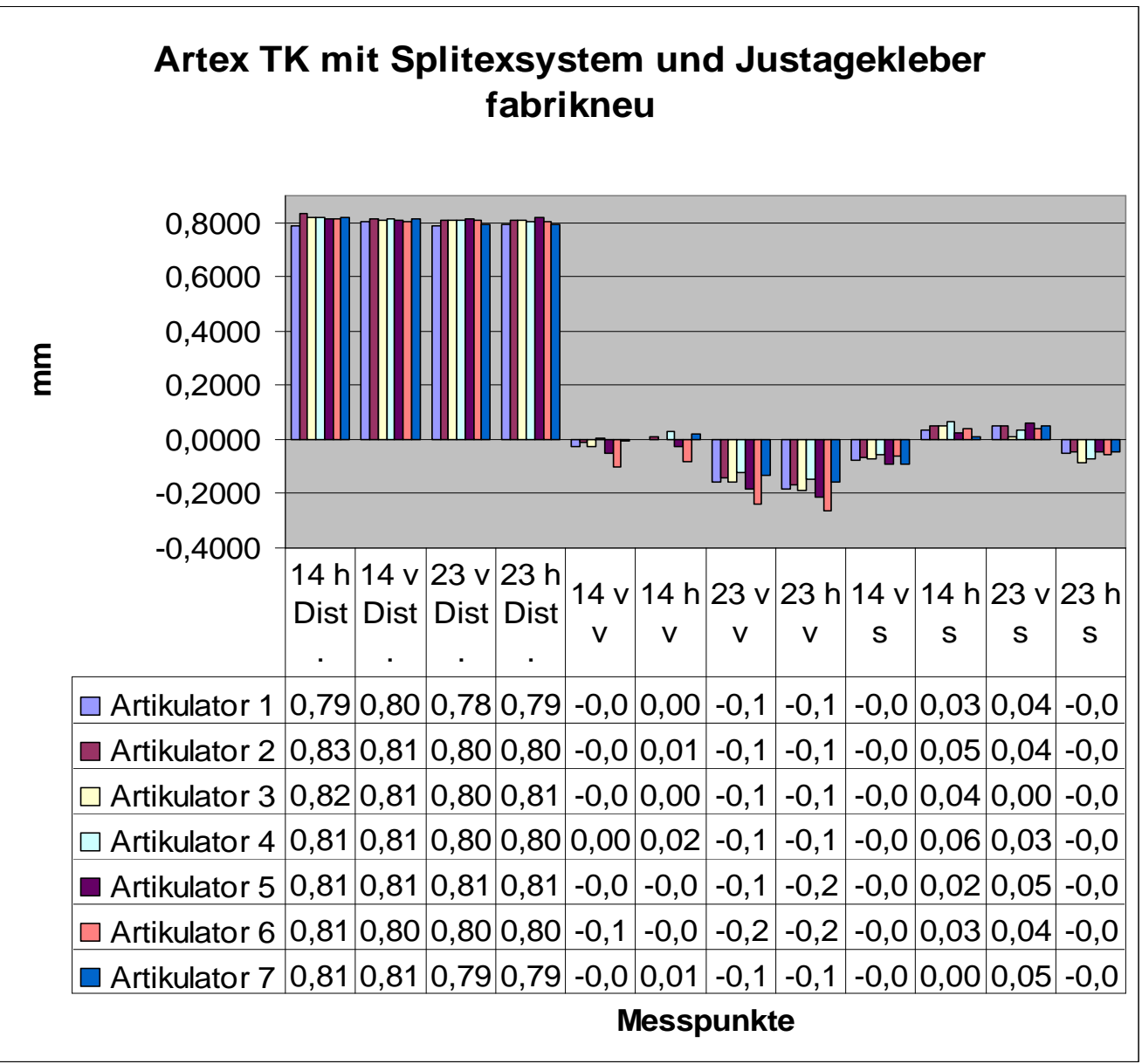


Abb.21: Vergleich der Messwerte innerhalb der Artikulator- Serie --Fabrikneue Artikulatoren Artex TK mit Splitexsystem und Justagekleber--

In der Abbildung 21 ist deutlich eine weitere Genauigkeitssteigerung zu erkennen.

Die Artikulatoren Artex TK der Firma Amann Girrbach wurden mit dem von der Firma neu auf den Markt gebrachten Justagekleber und dem Splitexsystem gleichgeschaltet.

So lassen sich für die Artikulator- Serie --*Fabrikneue Artikulatoren Artex TK mit Splitexsystem und Justagekleber*-- die folgenden Standardvergleichswerte mit den jeweiligen Abweichungen um die einzelnen Messpunkte graphisch darstellen.

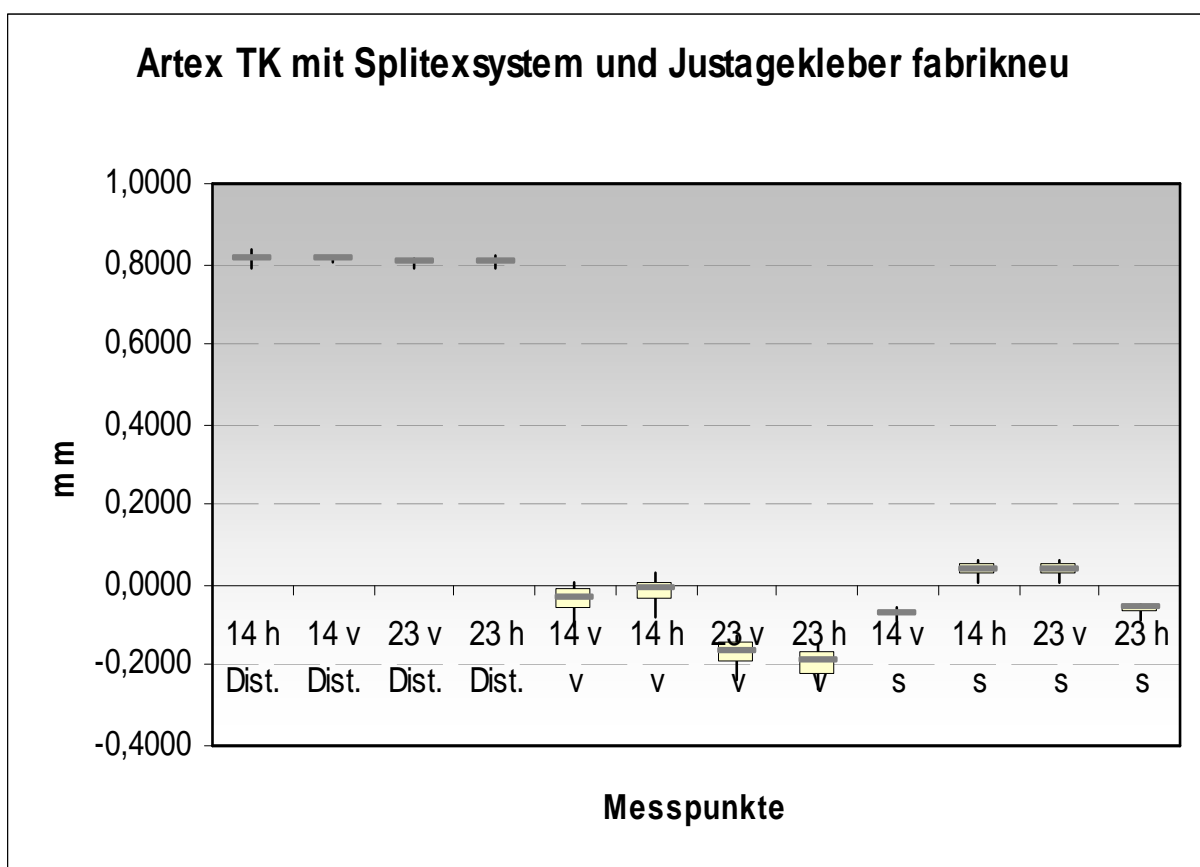


Abb.22: Darstellung der Streubereiche um die Messpunkte innerhalb der Artikulator- Serie --*Neue Artikulatoren Artex TK mit Splitexsystem und Justagekleber*--

Für diese Artikulator- Serie liegt der maximale durchschnittliche Streubereich bei 0,0607 mm (Abb.22).

Eine praktische Aussagekraft hat jedoch der durchschnittliche Streubereich. Dieser wird aus der durchschnittlichen Bandbreite zwischen oberem und unterem Streuquartil ermittelt und liegt bei 0,0304 mm.

Die Genauigkeit dieser Gleichhaltungsmethode schwankt durchschnittlich um $\pm 0,0152 \text{ mm}$.

5.1.6 Messergebnisse --Fabrikneue Artikulatoren mit Splitexsystem--

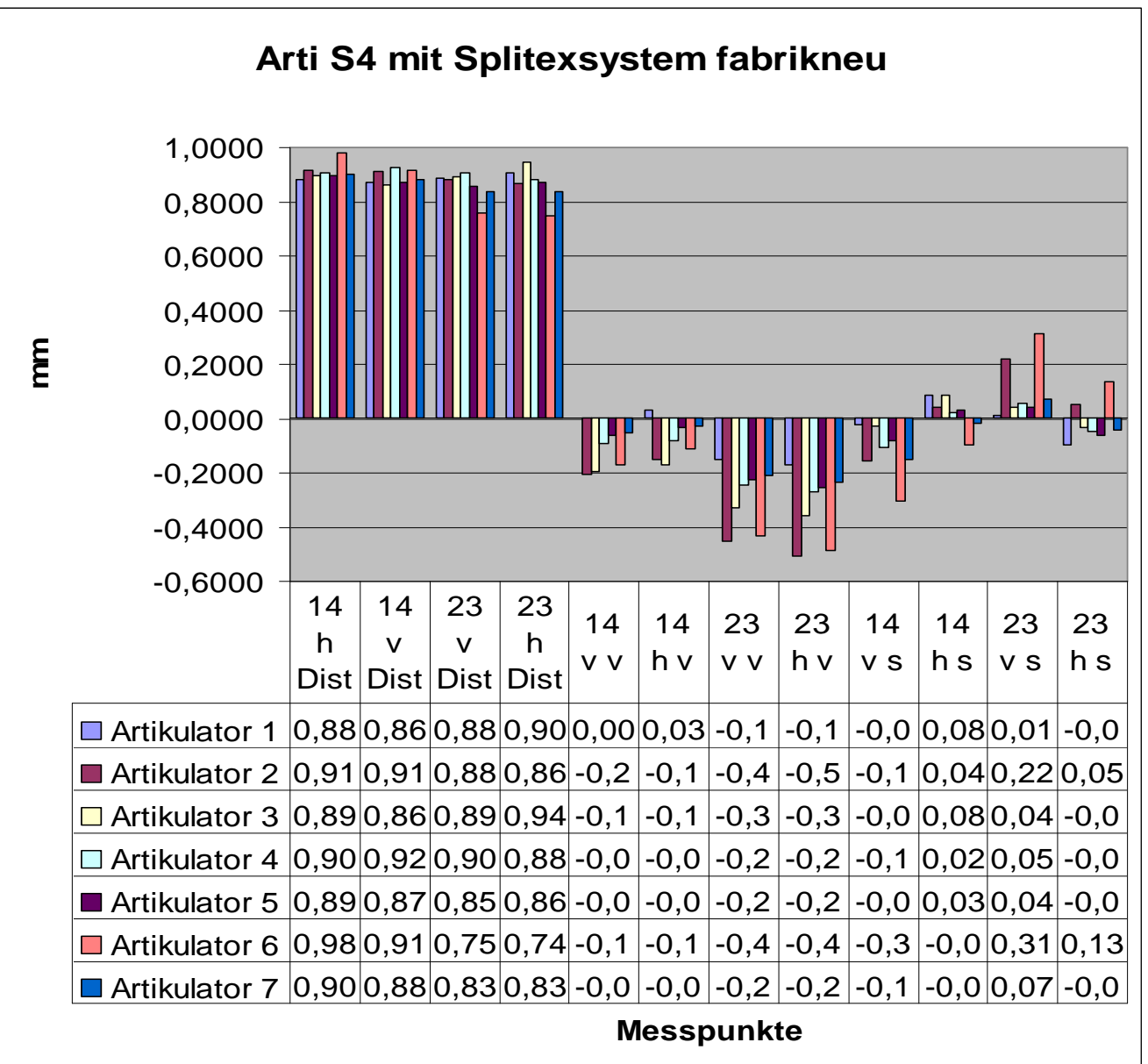


Abb. 23: Vergleich der Messwerte innerhalb der Artikulator- Serie --Fabrikneue Artikulatoren Arti S4 mit Splitexsystem--

In gleicher Weise wie das Gleichschaltungssystem der Firma IML sich in den Artikulator Artex TK übertragen lässt, ist die Gleichschaltung des Artikulators Arti S4 mit dem Splitexsystem der Firma Amann Girrbach möglich. Zu diesem Zweck verfügt der Artikulator über verstellbare Montagebolzen, die auf das jeweils zum Einsatz kommende Gleichschaltungssystem eingestellt werden können.

Da der Arti S4 eine höhere Bauhöhe als der Artex TK aufweist, kann zur Fixierung des Gleichschaltungssystems nur das den entstehenden Spalt ausfüllende Pattern Resin verwendet werden.

In der Abbildung 24 verdeutlichen die Messwerte den auftretenden Verzug der Gleichschaltungsplatten. Die Streubreite ist erheblich größer als bei der Gleichschaltung mit Justagekleber oder Fixationsgips.

Die innerhalb der Artikulator- Serie ermittelten Abweichungen um die jeweiligen Messpunkte sind im Folgenden graphisch dargestellt (Abb. 24).

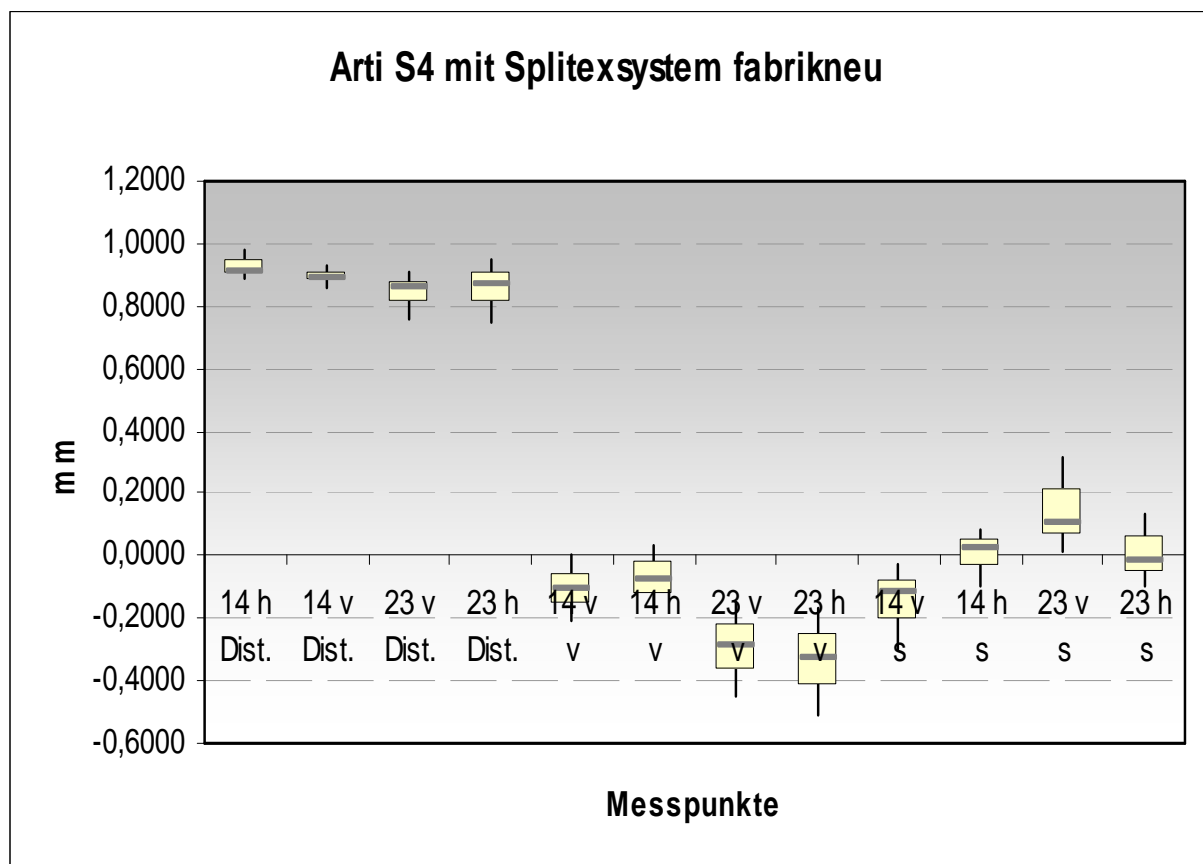


Abb.24: Darstellung der Streubereiche um die Messpunkte innerhalb der Artikulator- Serie --Fabrikneue Artikulatoren Arti S4 mit Splitexsystem--

Der maximale durchschnittliche Streubereich beträgt 0,2126 mm.

Der praxisrelevante durchschnittliche Streubereich ergibt sich wiederum aus der durchschnittlichen Bandbreite zwischen oberem und unterem Streuquartil. Dieser Wert liegt bei 0,1063 mm.

Die Genauigkeit der Gleichschaltung schwankt somit durchschnittlich um **+ - 0,05315 mm**.

5.1.7 Messergebnisse --Fabrikneue Artikulatoren Arti S4 mit Split-Set-System--

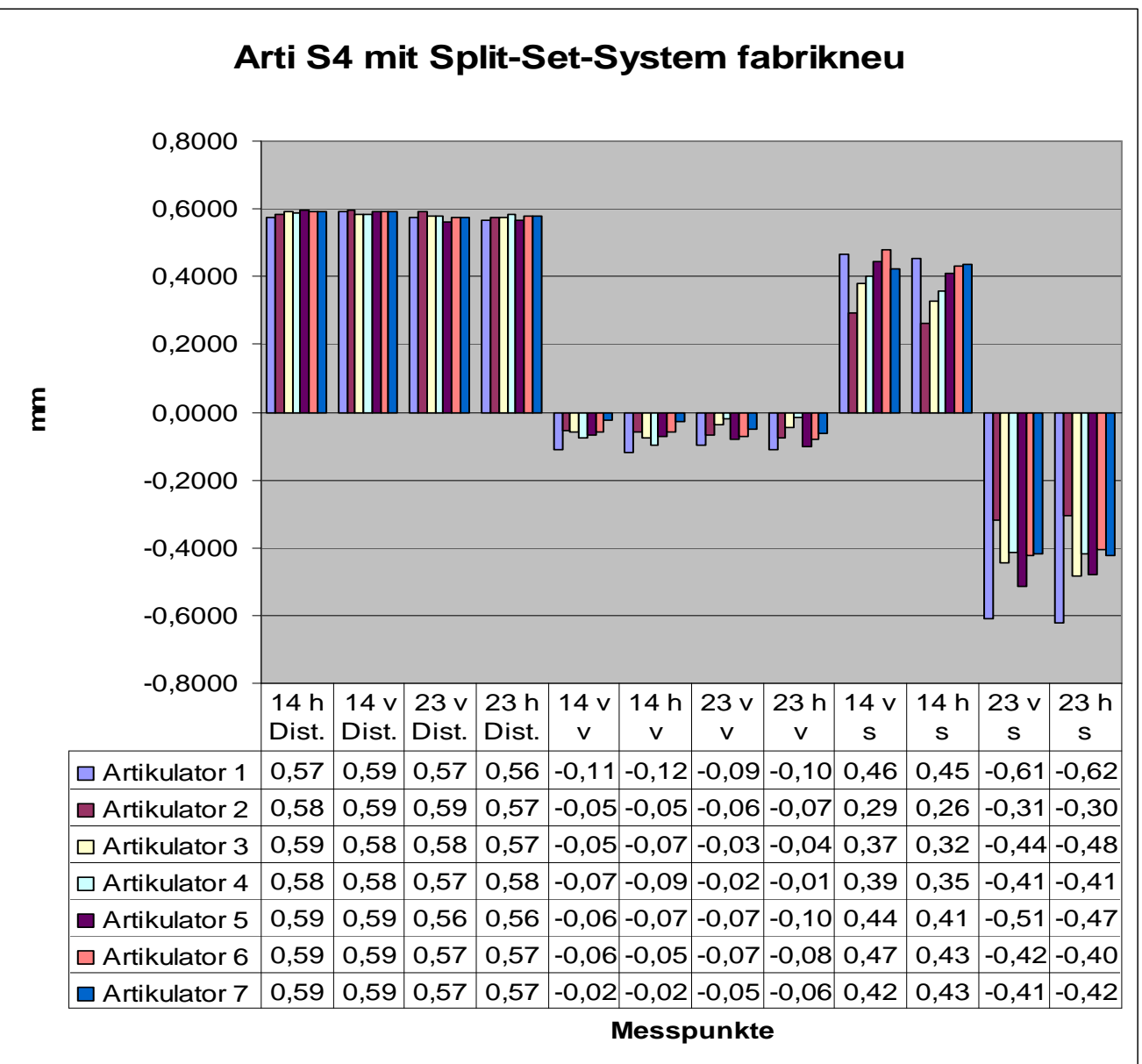


Abb. 25: Vergleich der Messwerte innerhalb der Artikulator- Serie --Fabrikneue Artikulatoren Arti S4 mit Split-Set System--

Aus der Abbildung 25 geht hervor, dass die Gleichschaltung der IML Artikulatoren Arti S4 mit dem systemeigenen Split- Set- System eine deutliche Genauigkeitssteigerung mit sich bringt.

Zur Fixierung der Gleichschaltung wurde der Superhartgips Sheramaximum 2000 Klasse IV der Firma Shera verwendet.

Die ermittelten Standardvergleichswerte für die Serie --Fabrikneue Artikulatoren Arti S4 mit Split-Set System-- sind nachfolgend graphisch dargestellt.

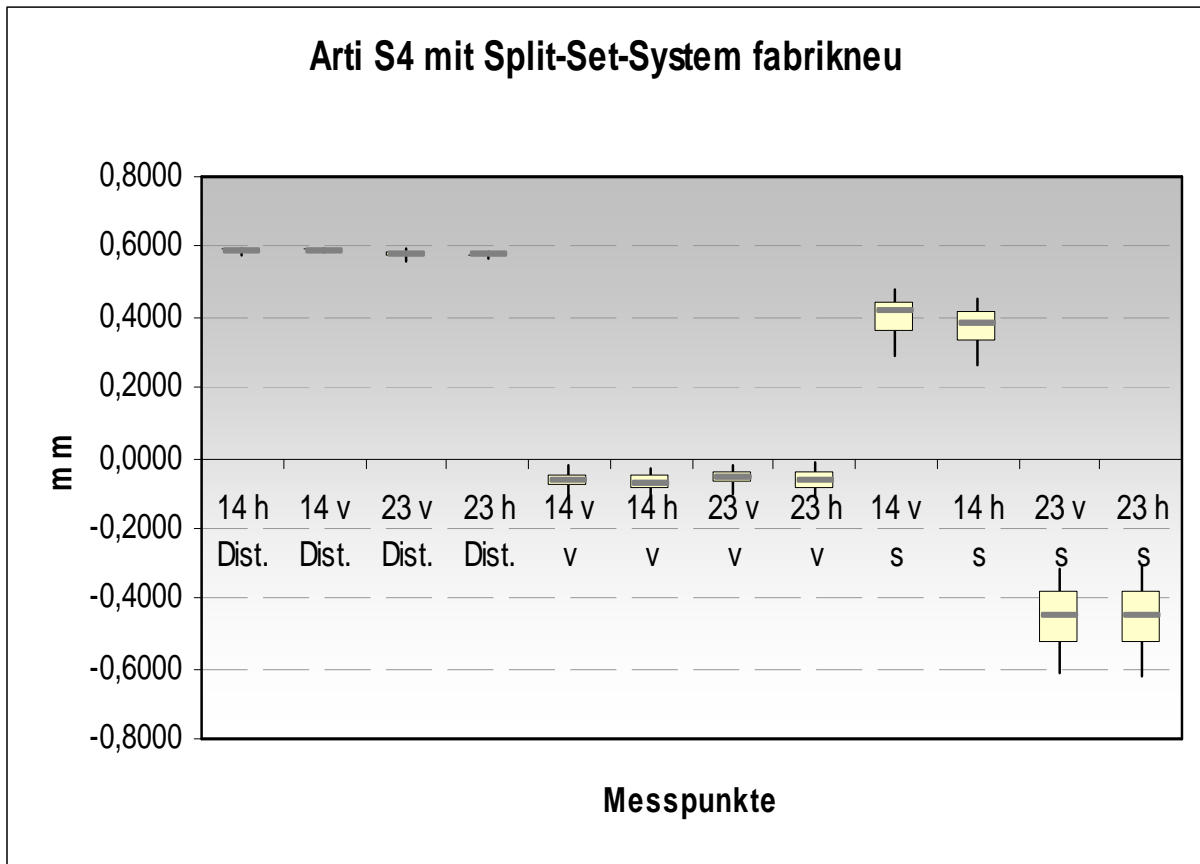


Abb.26: Darstellung der Streubereiche um die Messpunkte innerhalb der Artikulator- Serie --Fabrikneue Artikulatoren Arti S4 mit Split-Set System--.

Für diese Artikulator- Serie wurde ein maximaler durchschnittlicher Streubereich von 0,1184 mm errechnet.

Der für die praktische Anwendung nutzbare durchschnittliche Streubereich, die mittlere Bandbreite zwischen oberem und unterem Streuquartil, beträgt 0,0592 mm.

Dabei ist festzustellen, dass die Genauigkeit dieser Gleichschaltung um durchschnittlich **+/- 0,0296 mm** schwankt.

5.2 Genauigkeitsvergleich aller getesteten Systeme

Um die einzelnen Systeme suffizient untereinander vergleichen zu können, ist für die ermittelten Werte ein aussagefähiger durchschnittlicher Streubereich errechnet worden. Dieser Wert umfasst die maximalen und minimalen Extremwerte, in deren Mitte das Optimum zu finden ist.

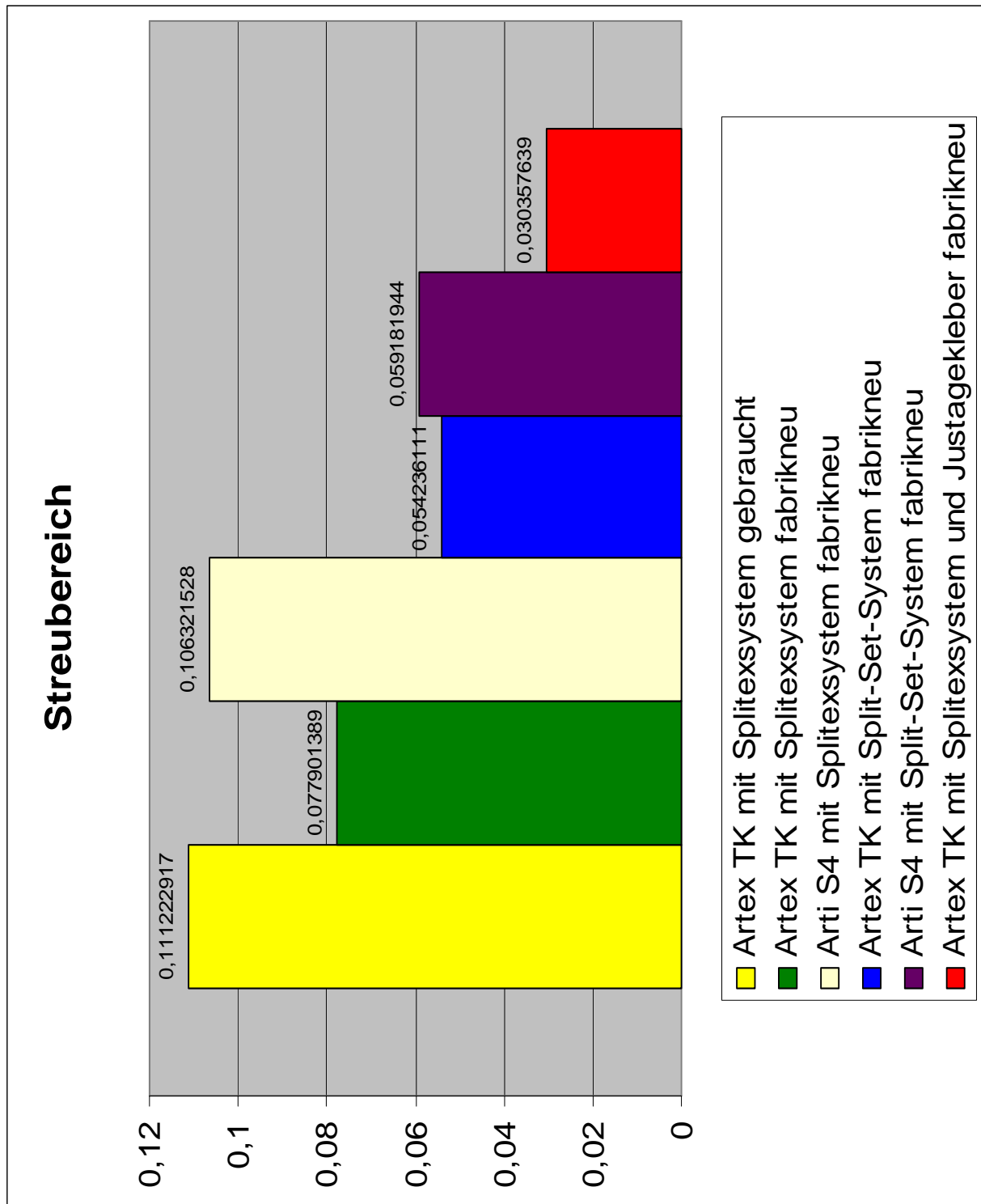


Abb.27: Vergleich der Streubereiche aller getesteten Gleichschaltungsvarianten

Die Hälfte des jeweiligen Streubereiches stellt die Abweichung dar, mit der die Genauigkeit \pm um das Optimum schwankt. Anhand dieser Abweichung lassen sich die unterschiedlichen Gleichschaltungssysteme nun objektiv vergleichen.

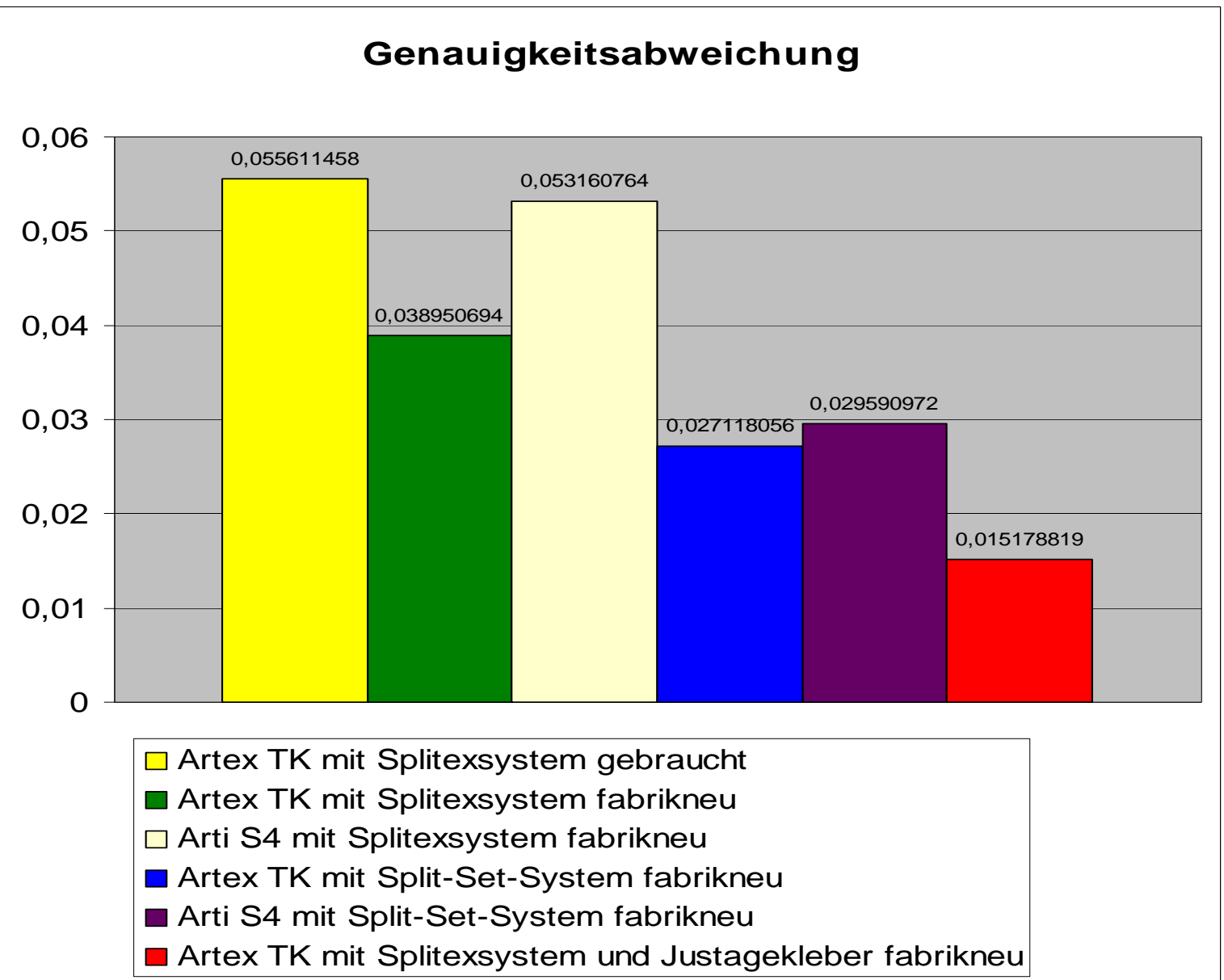


Abb.28: Vergleich der Genauigkeiten aller getesteten Gleichschaltungsvarianten

Die Abbildung 28 verdeutlicht graphisch die objektiv ermittelten Genauigkeitsabweichungen. Es ist zu erkennen, dass der Artikulator Artex TK in Kombination mit dem Splitexsystem am günstigsten abschneidet (Abweichung von $\pm 0,015178819$ mm), wenn er mit dem von Girrbach speziell zur Gleichschaltung empfohlenen Justagekleber verbunden wird. Vergleicht man die Justagekleber-Fixierung der Systeme mit der herkömmlichen Gleichschaltung unter Verwendung des Autopolymerisates Pattern Resin, ist eine gravierende Verbesserung der Präzision zugunsten des Justageklebers festzustellen.

Das zweitbeste Genauigkeitsergebnis erzielte der Artikulator Artex TK der Firma Amann Girrbach in Kombination mit dem Split-Set-System der Firma IML.

Als oberste tolerierbare Ungenauigkeit sollte 0,03 mm nicht überschritten werden, da ab dieser Grenze bereits ein taktiler Erfassen von Störkontakten im menschlichen orofacialen System beginnt und es bereits zu Parafunktionen kommen kann.

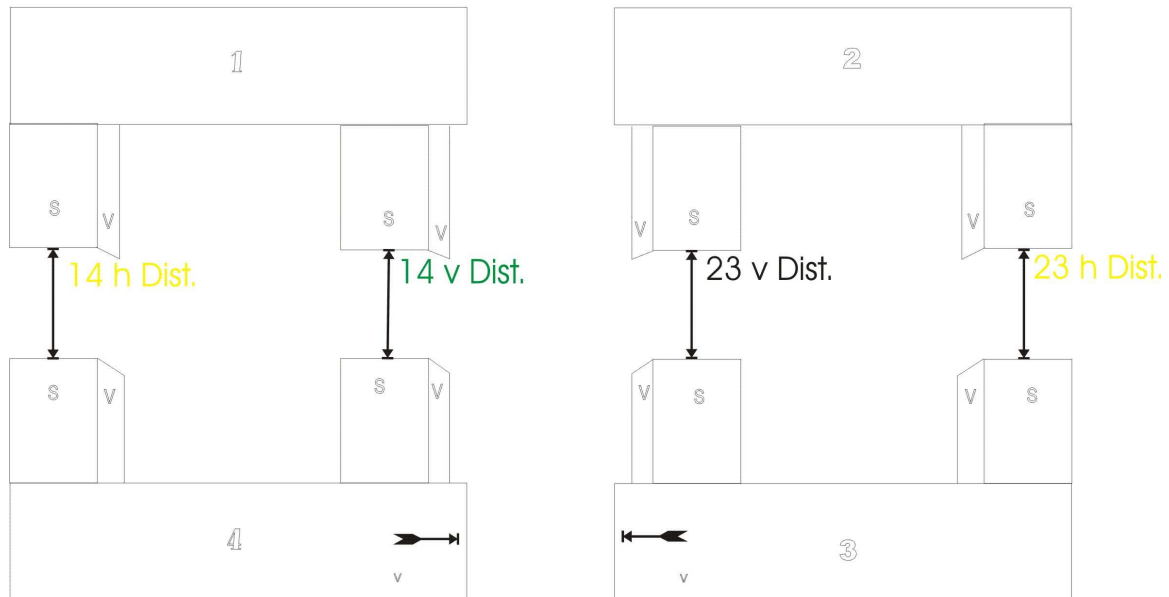
Diese Kriterien erfüllte mit einer Abweichung von $\pm 0,029590972$ mm auch der Artikulator Arti S4 mit dem Split-Set-System der Firma IML, der mit Hilfe von Superhartgips gleichgeschaltet wurde.

5.3 Statistische Darstellung der signifikanten Abweichungen

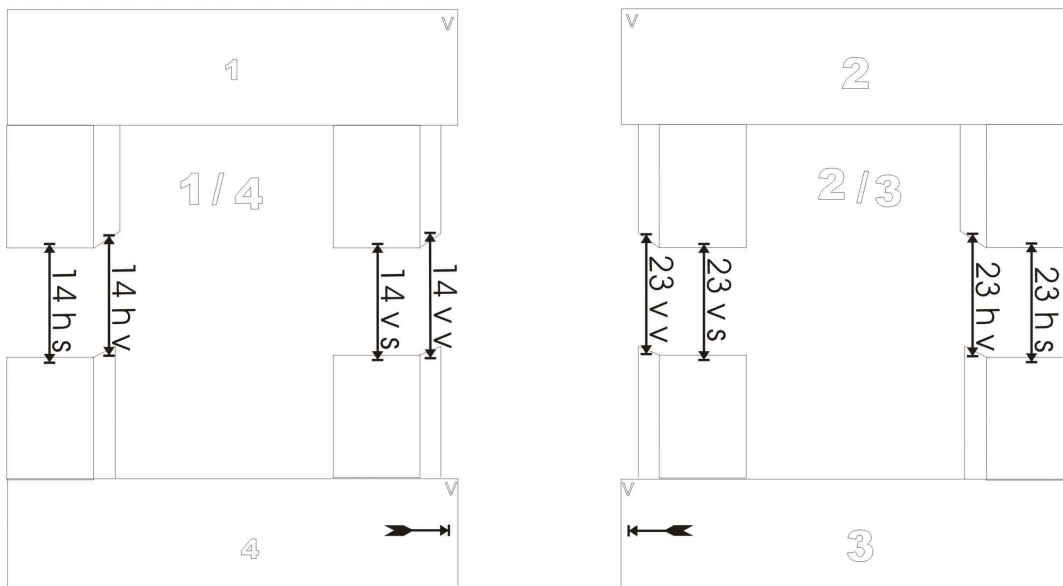
Ausgesprochen wichtig sind die Vergleiche der Abweichungen aus den einzelnen Gleichschaltungsmethoden untereinander.

Im Folgenden wurden daher Messpunkte markiert, an denen eine statistisch signifikante Abweichung mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $<5\%$ gesichert ist.

Signifikanzen im Vergleich der Artikulatoren Artex TK mit Splitex- System (fabrikneu) mit Pattern Resin gleichgeschaltet zu Artex TK mit Splitex- System (gebraucht) mit Pattern Resin gleichgeschaltet.



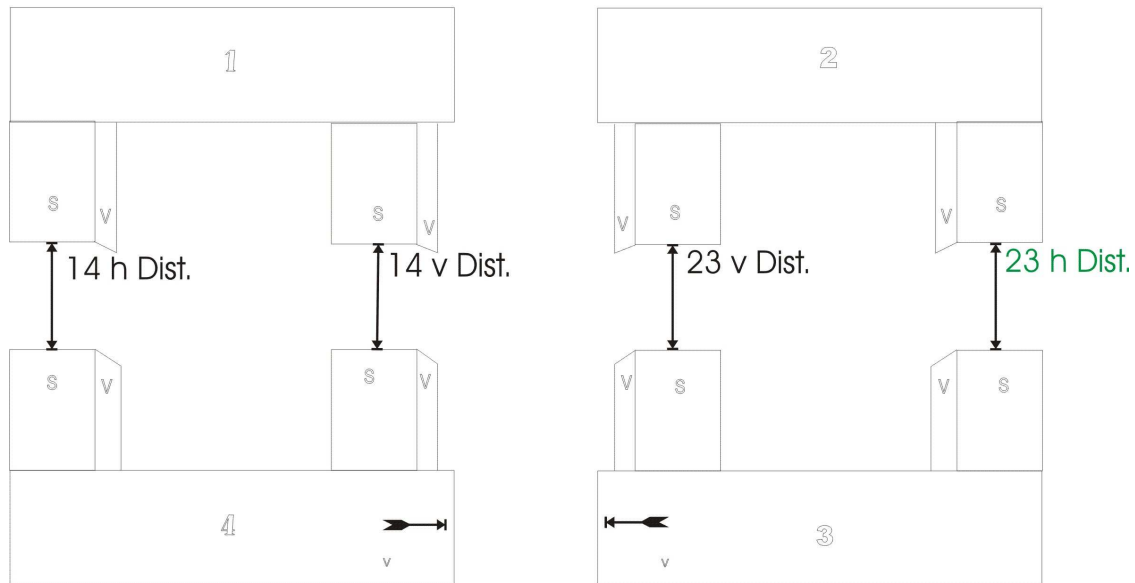
Farbe: grün= signifikanter Unterschied ($1-p > 0,095$)
 gelb= hoch signifikanter Unterschied ($1-p > 0,099$)
 blau= höchst signifikanter Unterschied ($1-p > 0,999$)



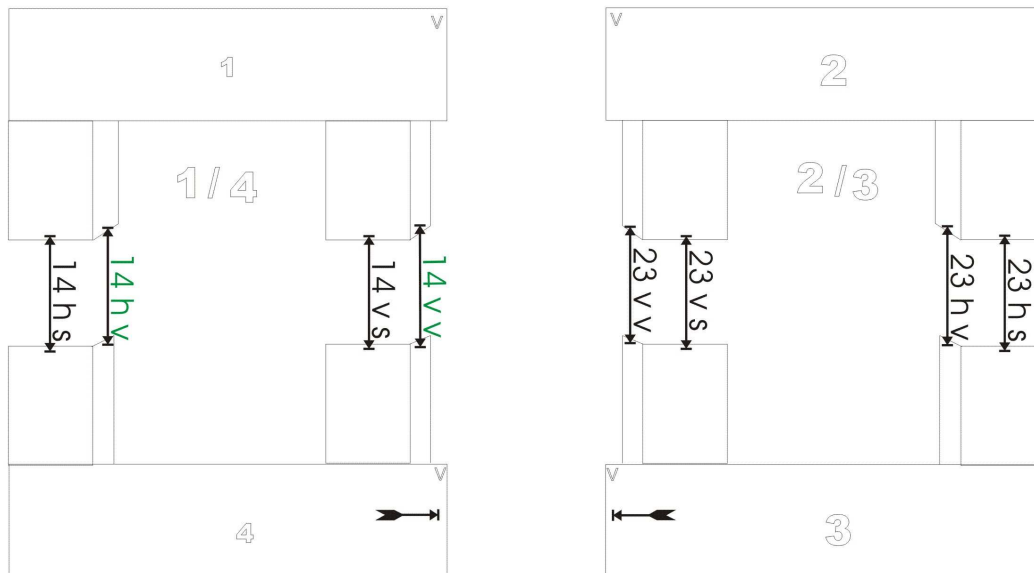
Seitenansicht

Abb. 29: Signifikanz- Vergleich Artex TK mit Splitex- System (fabrikneu) mit Pattern Resin gleichgeschaltet zu Artex TK mit Splitex- System (gebraucht) mit Pattern Resin gleichgeschaltet

Signifikanzen im Vergleich der Artikulatoren Artex TK mit Splitex- System (fabrikneu) mit Pattern Resin gleichgeschaltet zu Artex TK mit Splitex- System (fabrikneu) mit Locktite Metallkleber gleichgeschaltet.



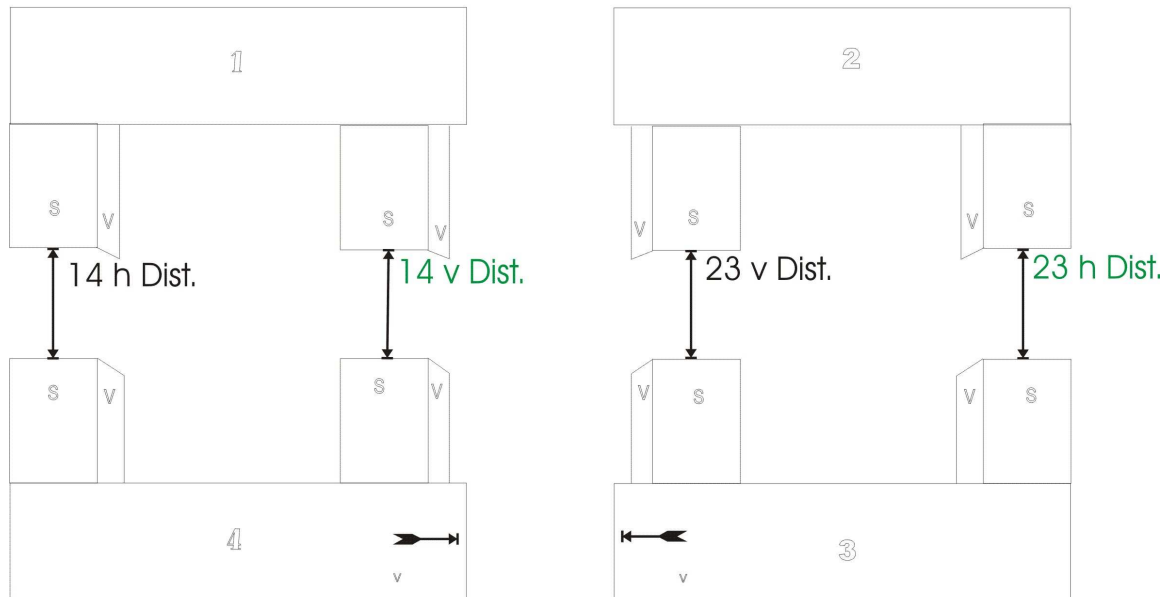
Farbe: grün= signifikanter Unterschied ($1-p>0,095$)
 gelb= hoch signifikanter Unterschied ($1-p>0,099$)
 blau= höchst signifikanter Unterschied ($1-p>0,0999$)



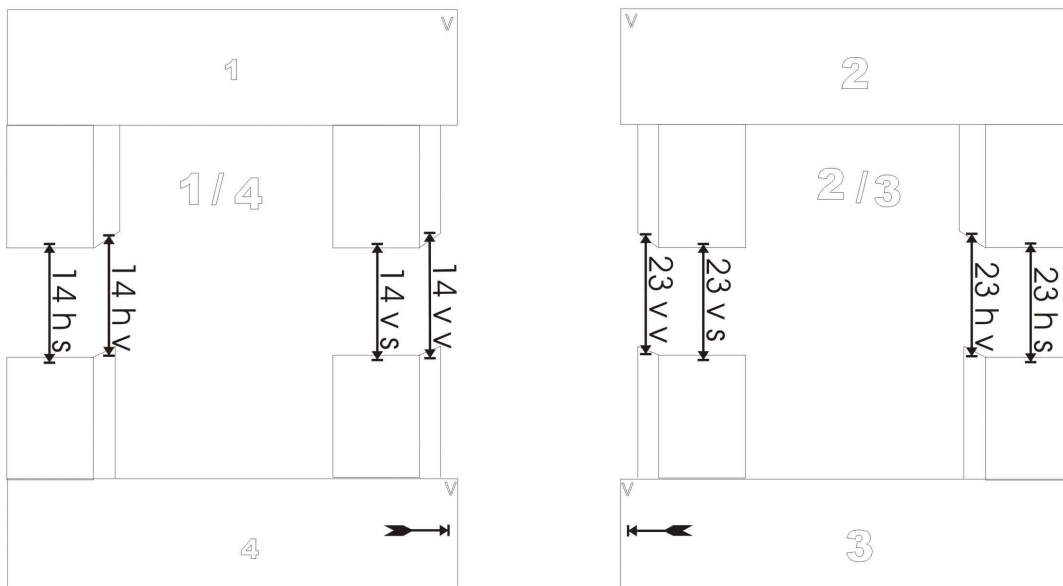
Seitenansicht

Abb. 30: Signifikanz- Vergleich Artex TK mit Splitex- System (fabrikneu) mit Pattern Resin gleichgeschaltet zu Artex TK mit Splitex- System (fabrikneu) mit Locktite Metallkleber gleichgeschaltet.

Signifikanzen im Vergleich der Artikulatoren Artex TK mit Splitex- System (gebraucht) mit Pattern Resin gleichgeschaltet zu Artex TK mit Splitex- System (fabrikneu) mit Locktite Metallkleber gleichgeschaltet.



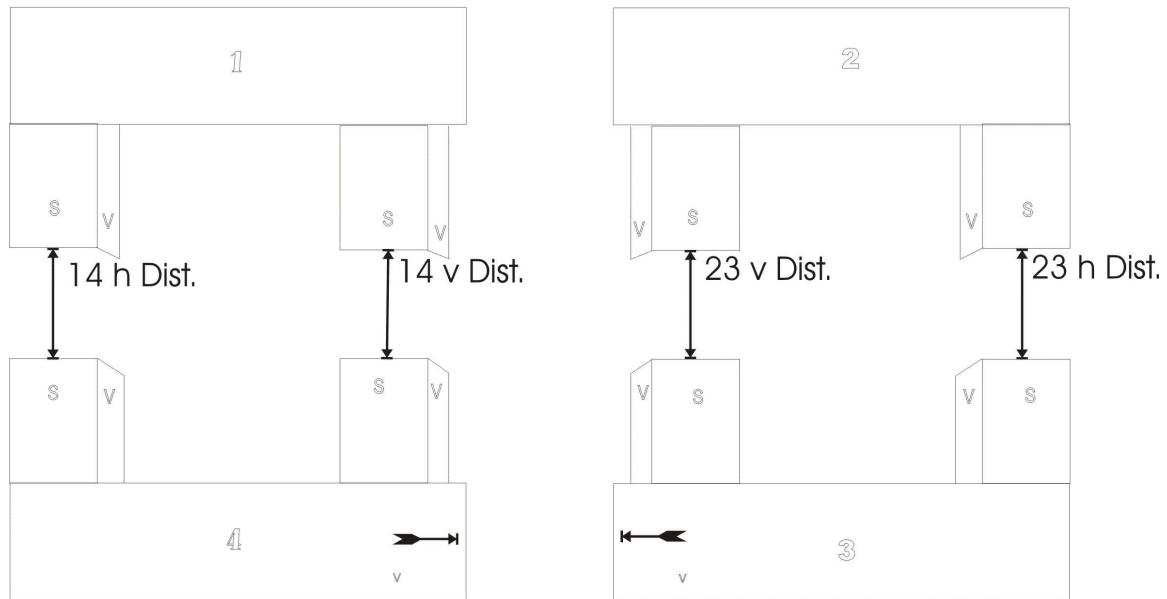
Farbe: grün= signifikanter Unterschied ($1-p > 0,095$)
 gelb= hoch signifikanter Unterschied ($1-p > 0,099$)
 blau= höchst signifikanter Unterschied ($1-p > 0,0999$)



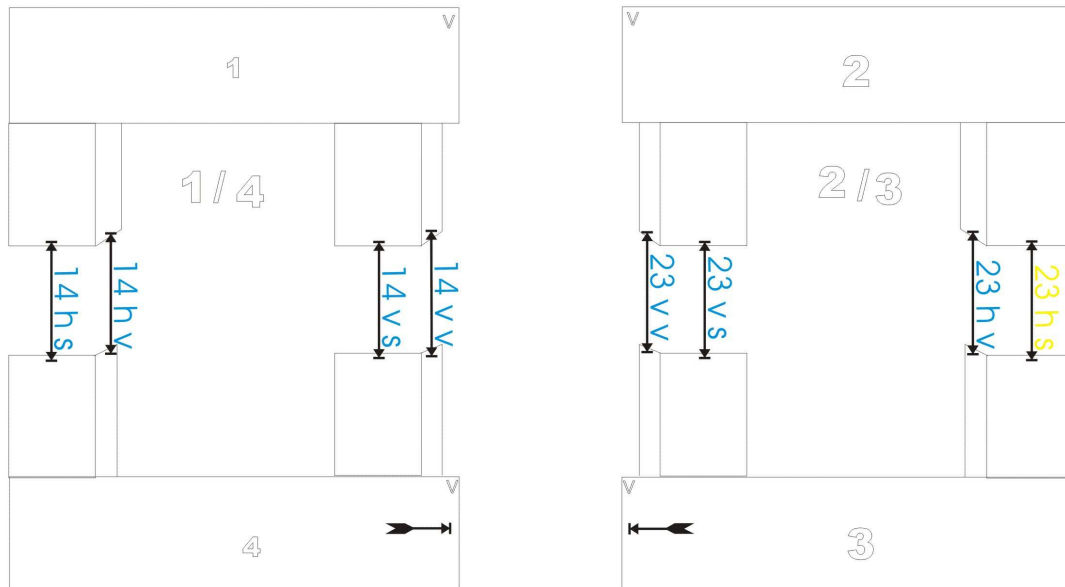
Seitenansicht

Abb. 31: Signifikanz- Vergleich Artex TK mit Splitex- System (gebraucht) mit Pattern Resin gleichgeschaltet zu Artex TK mit Splitex- System (fabrikneu) mit Locktite Metallkleber gleichgeschaltet.

Signifikanzen im Vergleich der Artikulatoren Arti S4 mit Split-Set-System zu Artex TK mit Split-Set-System



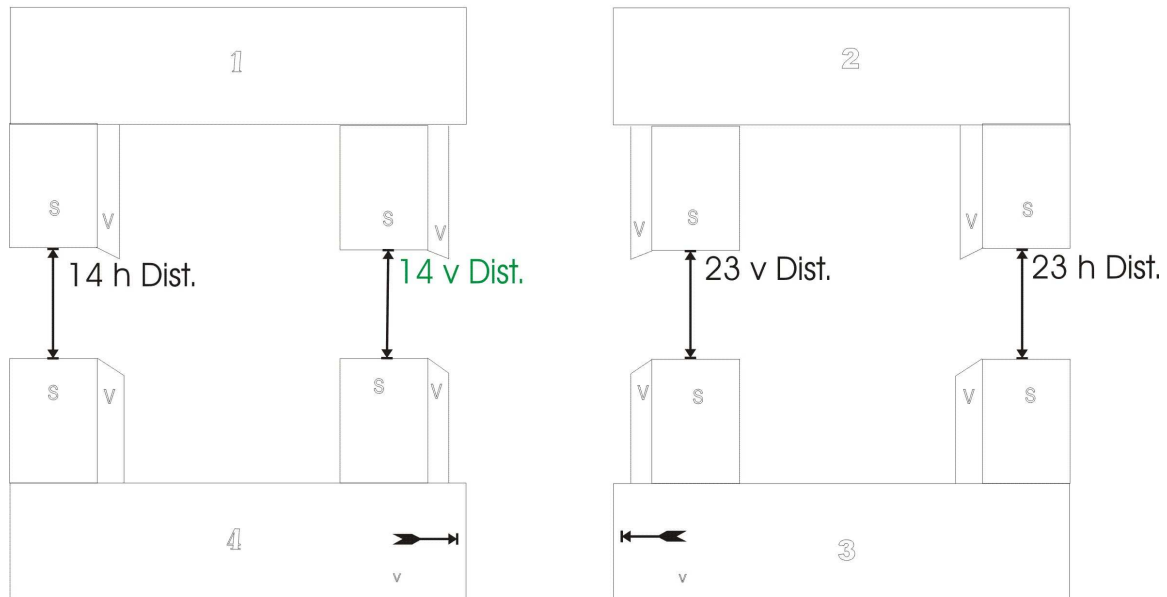
Farbe: grün= signifikanter Unterschied ($1-p>0,95$)
gelb= hochsignifikanter Unterschied ($1-p>0,99$)
blau= höchst signifikanter Unterschied ($1-p>0,999$)



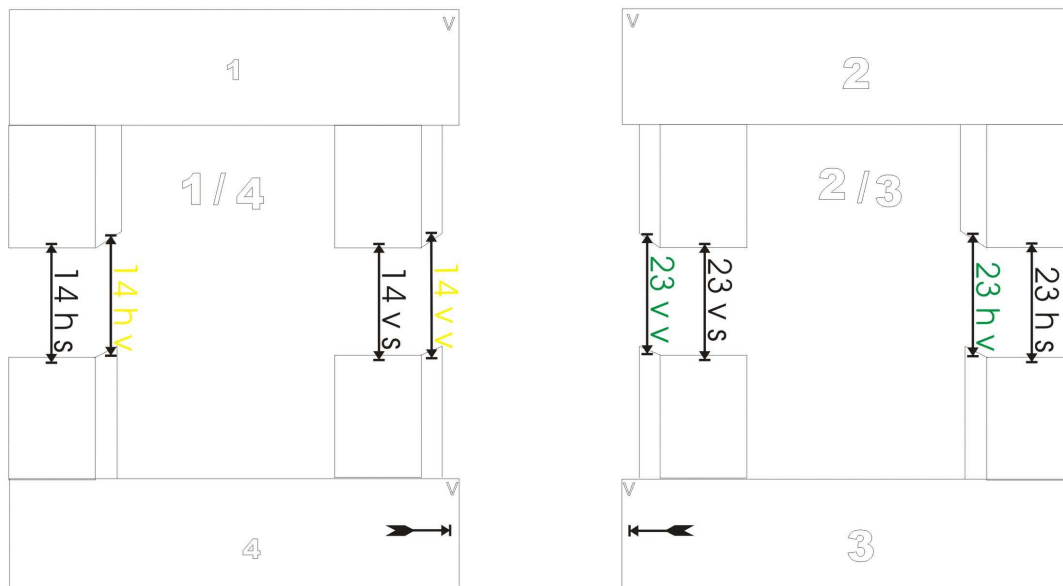
Seitenansicht

Abb. 32: Signifikanz- Vergleich Arti S4 mit Split- Set- System (fabrikneu) mit Pattern Resin gleichgeschaltet zu Artex TK mit Split- Set- System (fabrikneu) mit Pattern Resin gleichgeschaltet.

Signifikanzen im Vergleich der Artikulatoren Arti S4 mit Splitex- System zu Artex TK mit Splitex- System (fabrikneu) mit Pattern Resin gleichgeschaltet.



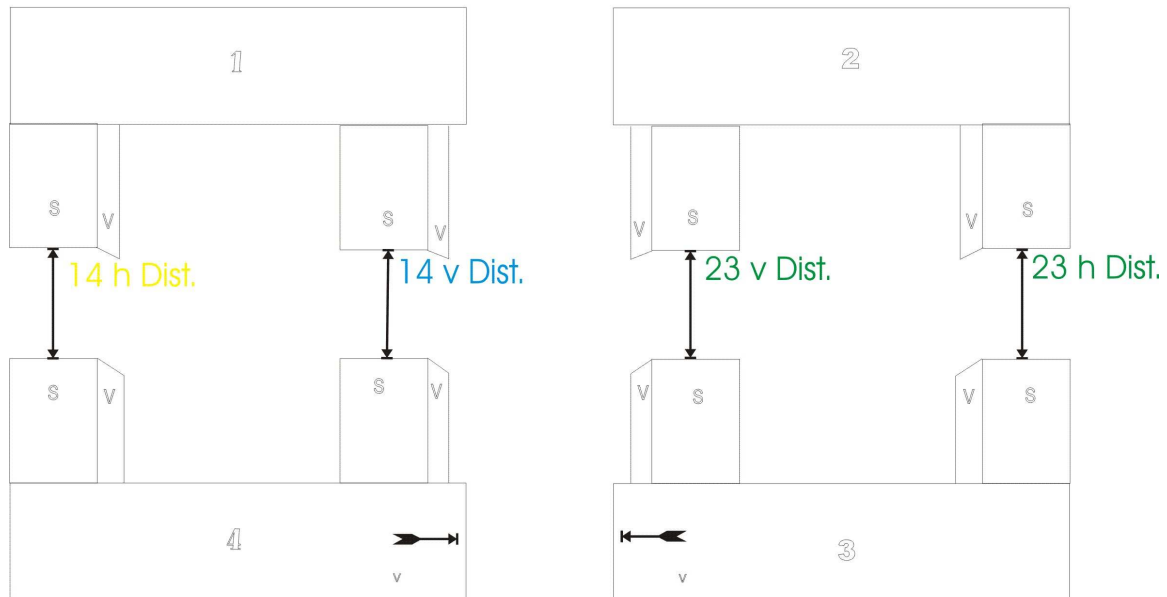
Farbe: grün= signifikanter Unterschied ($1-p>0,095$)
 gelb= hoch signifikanter Unterschied ($1-p>0,099$)
 blau= höchst signifikanter Unterschied ($1-p>0,999$)



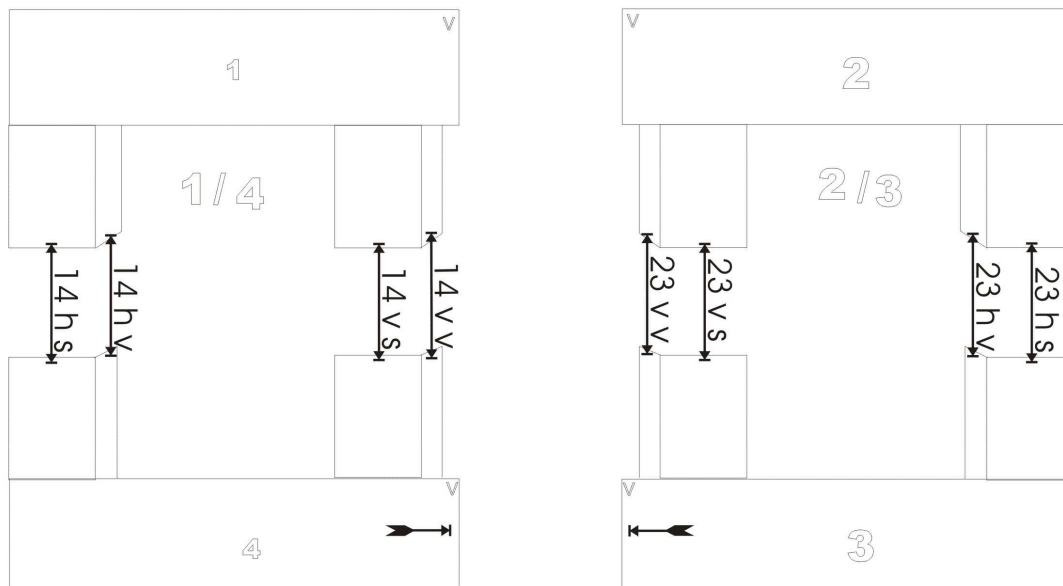
Seitenansicht

Abb. 33: Signifikanz- Vergleich Arti S4 mit Splitex- System (fabrikneu) mit Pattern Resin gleichgeschaltet zu Artex TK mit Splitex- System (fabrikneu) mit Pattern Resin gleichgeschaltet.

Signifikanzen im Vergleich der Artikulatoren Arti S4 mit Splitex- System zu Artex TK mit Splitex- System (gebraucht) mit Pattern Resin gleichgeschaltet.



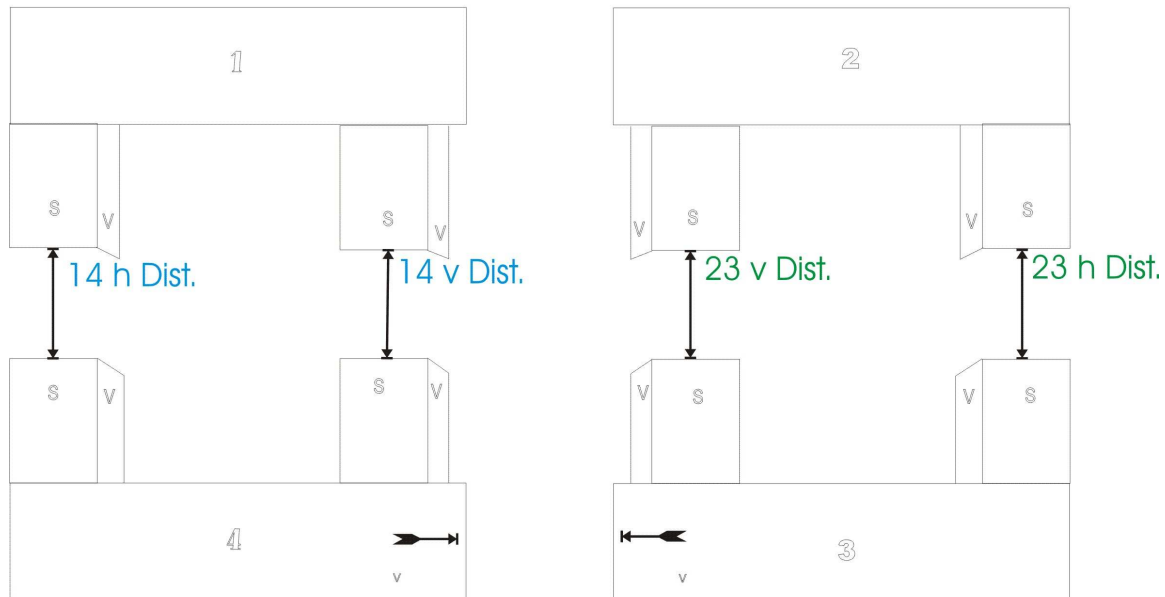
Farbe: grün= Signifikanter Unterschied ($1-p > 0,095$)
 gelb= hoch signifikanter Unterschied ($1-p > 0,099$)
 blau= höchst signifikanter Unterschied ($1-p > 0,0999$)



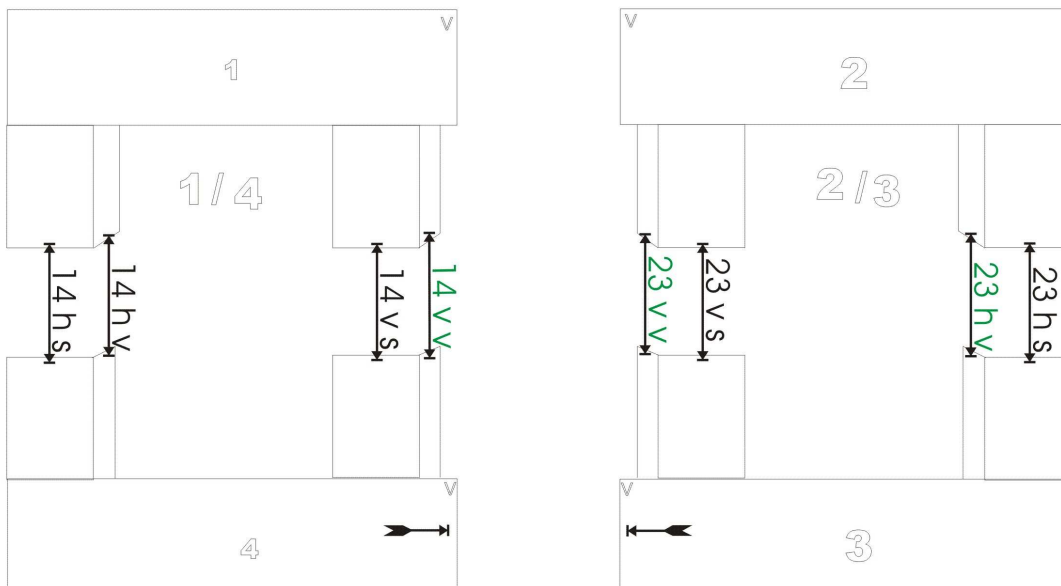
Seitenansicht

Abb. 33: Signifikanz- Vergleich Arti S4 mit Splitex- System (fabrikneu) mit Pattern Resin gleichgeschaltet zu Artex TK mit Splitex- System (gebraucht) mit Pattern Resin gleichgeschaltet.

Signifikanzen im Vergleich der Artikulatoren Arti S4 mit Splitex- System durch Pattern Resin gleichgeschaltet zu Artex TK mit Splitex- System (fabrikneu) durch Locktite Metallkleber gleichgeschaltet.



Farbe: grün= signifikanter Unterschied ($1-p>0,095$)
 gelb= hoch signifikanter Unterschied ($1-p>0,099$)
 blau= höchst signifikanter Unterschied ($1-p>0,999$)



Seitenansicht

Abb. 34: Signifikanz- Vergleich Arti S4 mit Splitex- System (fabrikneu) mit Pattern Resin gleichgeschaltet zu Artex TK mit Splitex- System (fabrikneu) mit Locktite- Metallkleber gleichgeschaltet.

6. Diskussion

6.1 Experimentelles Procedere

Der angewendete Versuchsaufbau zur Genauigkeitsermittlung und die eingesetzten Prüfkörper sind eigenständig konzipiert worden. Sie wurden in der Zentralwerkstatt der Friedrich-Schiller-Universität Jena aus Aluminium CNC-gefräst und wiesen eine für die Versuchsanordnung erforderliche Genauigkeit auf.

Die Prüfobjekte wurden so dimensioniert, dass sie flächig plan zentrierbar und sowohl optisch als auch mechanisch vermessbar waren.

Sie stellen stilisierte Ober und Unterkiefermodelle dar, die auf ihre vier Stützzonen je zwei im Molaren- und zwei im Prämolarenbereich reduziert sind.

Erfasst werden sollte der für die präzise Dimensionierung der Modelle zueinander wichtige horizontale Versatz, der als für die Entstehung von Frühkontakten ausschlaggebende Komponente angesehen werden kann, aber auch der vertikale Versatz, der zu Bisshebungen bzw. -senkungen führt.

Da zwei unterschiedliche Gleichschaltungssysteme zu prüfen waren, wurden die Prüfkörper zum einen für das System Girrbach und zum anderen für das System IML hergestellt.

Zur optischen Ermittlung des vertikalen Versatzes wurde eine spezielle Hintergrundbeleuchtung konstruiert, die den zu vermessenden Bereich gleichmäßig und blendfrei ausleuchtete.

Die durch computerunterstützte Antastung der Messstellen oder durch optische Vermessung erfassten Strecken wurden zur Sicherstellung einer fehlerfreien Messung auf ihre Richtigkeit hin mit Endmaßen und Mikrometerschrauben überprüft.

Da man zum Vergleich der Messwerte auf einen Ausgangswert angewiesen ist mit dem man die Einzelnen Werte der verschiedenen Artikulatoren vergleichen kann, wurden alle erfassten Messwerte gemittelt und somit ein virtueller in seiner Genauigkeit optimaler Artikulator konstruiert.

6.1.1 Versuchsanordnung und Geräte

Die Versuchsreihe wurde im Messlabor des zu dieser Zeit eigenständigen Fachbereichs Feinwerktechnik der Fachhochschule Jena unter optimalen klimatisierten Verhältnissen durchgeführt.

Die Vorversuchsreihe unter dem 3D-Streifenprojektionsscanner wies eindeutig eine untolerierbar starke Genauigkeitsschwankung auf, die die Messergebnisse unbrauchbar werden ließ.



Abb.29: Versuchsanordnung im Streifenprojektionsscanner

Das aufgetretene Problem ließ sich auch nicht durch eine Veränderung der Auflage in der Höhe oder in dem Bereich des Anstellwinkels des Messobjektes beseitigen. Ohne erkennbare Genauigkeitssteigerung wurden alle spiegelnden Oberflächen der Prüfkörper durch Eloxieren des verwendeten Aluminiums mattiert.

Auch wurde versucht dem Problem der mangelnden Genauigkeit durch eine Vergrößerung der aufgezeichneten Punktwolke entgegenzuwirken.

Dies jedoch führte im Ergebnis nur zu einer noch extremeren Schwankung der erhaltenen Messergebnisse bei mehreren Vergleichsmessungen.

Diese Resultate führten zu der Erkenntnis, dass die Streifenprojektionsvermessung für die Beurteilung der Genauigkeit der Gleichschaltung von Artikulatoren in diesem Falle unzureichend und ungeeignet war.

Die zweite Vorversuchsreihe wurde mit der Universal-Mess-Maschine UMM des Herstellers Carl Zeiss Jena durchgeführt, die für die Messzwecke dieser Studie mit elektromechanischen Feinmesstastern bzw. mit einem Messmikroskop erweitert wurde, und so auch dreidimensionale Messungen ermöglichte.

Mit dieser Kombination waren in der horizontalen Ebene Genauigkeiten von 0,0001 mm und in der vertikalen Ebene von 0,001 mm erreichbar.

Die unterste in der Literatur angegebene Schwelle für die taktile Erfassung von Störkontakten liegt bei 0,03 mm. Somit erwies sich die computerunterstützte taktile bzw. optische Vermessung auf der UMM als ausreichend genau.

Auf dem feinjustiertem geräteeigenem Kreutztisch wurde zur Aufnahme der Artikulatoren eine weitere Kreutztischkombination fixiert, mit der die jeweiligen Artikulatoren vor der Vermessung in eine reproduzierbare waagerechte Ausgangsposition gebracht werden konnten.



Abb.30: Versuchsaufbau in der Zeiss-Universal-Meßmaschine (UMM). Messung des horizontalen Versatzes im anterioren Stützzonenbereich

Zur optimalen Einrichtung der Artikulatoren kam eine Kombination aus einem konfektionierten Kreuztisch und einem eigens in der Zentralwerkstatt der Fachhochschule Jena angefertigten Neigetisch zum Einsatz.

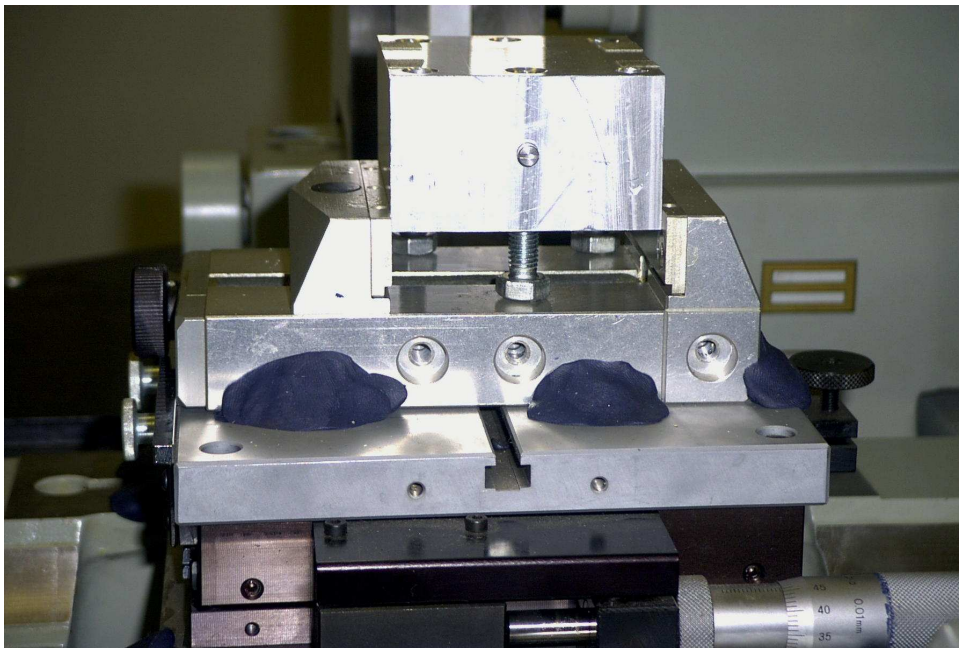


Abb.31: Kombination aus konfektioniertem und selbst entworfenem Kreuztisch zur Prüfkörperaufnahme.

6.1.2 Prüfparameter

6.1.2.1 Vertikale Abweichung

Vertikale Abweichungen von der maximalen Interkuspidation sind als besonders problematisch zu betrachten. Sie ziehen unter Umständen eine Vielzahl von Konsequenzen und möglichen Spätkomplikationen nach sich. Heute leiden rund 30% aller Deutschen an Kopfschmerzen, die vom klinischen Bild her als Spannungskopfschmerzen eingestuft werden können ...bei 92 Prozent aller Kopfschmerzpatienten kann das Craniomandibuläre System beteiligt sein... Bei Stress und okklusalen Störfaktoren besteht die Gefahr, dass das System in die Pathologie abschiert. Prof. Dr. Georg Meyer 2004. Das Einmaleins der Funktion. In: Teamwork Interdisziplinäres Journal für Prothetische Zahnheilkunde 7.Jahrgang ,1/2004.

Das Einfügen von Kunstteilen in das orofaciale System ist nur durch funktionelle Anpassung aller Teilmewebe des lebenden Organismus möglich. In der Belastungsfolge nimmt die Okklusion eine zentrale Stellung ein. Nur über die Okklusion können Zähne, Parodontalgewebe und Skeletteile funktionell-mechanisch beansprucht werden. (Körber K. 1975)

Nach Untersuchungen von Price RB Mansfield besteht eine okklusale Toleranzschwelle für einen Bereich von bis zu 50 µm, in dem keine pathologischen Veränderungen zu erwarten sind.

Price RB Mansfield 1999 Long-Term reliability of semiadjustable articulator interchangeability. In: International Journal Prosthodontics 1999, 8:235-9. Karlsson und Molin hingegen sprechen von einer Toleranzschwelle von 20 µm, bei welcher pathologische Veränderungen zu erwarten wären.

Karlsson S., Molin M. 1995. Effects of gold and bonded ceramic inlays on the ability to perceive occlusal thickness In: Journal Of Oral Rehabilitation 1995; 22:9-13.

6.1.2.2 Horizontale Abweichung

Da das Okklusionsrelief der menschlichen Zähne als speziell und individuell strukturiert anzusehen ist, führt bereits eine minimale horizontale Änderung der okkludierenden Kiefer zu einem vollständig veränderten Bild der interokklusalen Kontaktbeziehungen.

Es verschwinden in vivo nachweisbare Kontaktpunkte und werden durch solche ersetzt, die nur in der Modellsituation zutage treten.

Hierzu existieren Untersuchungen von Tamaki et al., die besagen, dass trotz individueller Bissregistrierung und schädel- bzw. gelenkbezogener Modellmontage nur 82% der protrusiven und 90% der laterotrusiven Kontakte, die in vivo vorhanden waren, in der Modellsituation nach der Montage im Artikulator nachweisbar sind.

Hiervon waren nur 62% der protrusiven und 81% der laterotrusiven Kontakte im Artikulator korrekt lokalisiert.

Zusätzlich erzeugte der mechanische Artikulator neue Kontakte, die sich im Mund nicht nachweisen ließen.

Prof. Dr. Dr. Bernd Kordaß. Perspektiven der virtuellen Realität in der Artikulatorentechnik. In: Teamwork Interdisziplinäres Journal für Prothetische Zahnheilkunde.

Allerdings sind nach Studien von Price Genauigkeitsdefizite von bis zu 90 µm noch als tolerabel einzustufen.

Price RB Mansfield 1999. Long-Term reliability of semiadjustable articulator interchangeability. In: International Journal Prosthodontics 1999, 8:235-9.

6.2 Standardisierung der Versuchsreihe

Die Gleichschaltung der in die Studie einbezogenen Artikulatoren wurde stets nach Herstellervorschriften durchgeführt und kontrolliert.

Um Messfehler zu vermeiden, sind die gleichgeschalteten und mit Messobjekten versehenen Artikulatoren stets in gleicher Weise in die UMM eingebracht und waagrecht ausgerichtet worden.

Nach dem Anfahren des jeweiligen Messpunktes wurde die Einstellung genullt und die Messung zur Fehlerminimierung jeweils dreimal durchgeführt. Zwischen den einzelnen gegenüberliegenden Messpunkten ist stets eine Distanz von 2 mm eingehalten worden.



Abb.32: Versuchsanordnung in der UMM mit computergestützter Messeinheit (Genauigkeit von bis zu 1/10000mm).

Zur Vermeidung von Messungenauigkeiten durch Temperaturschwankungen wurde stets unter klimatisierten Bedingungen gearbeitet.

Die in einer Messreihe überprüften Artikulatoren sind mindestens 24 Stunden vor der Vermessung im Messraum gelagert und akklimatisiert worden.

Durch die Verwendung des immer gleich bleibenden Messkörperpaares innerhalb der jeweiligen Artikulatorenserien konnte sichergestellt werden, dass eventuelle systembedingte Fehler sich nicht nachteilig im Messergebnis auswirkten.

6.3 Ergebnisbewertung

6.3.1 Gleichschaltung mit Pattern Resin- Fixierung

Pattern Resin ist ein cadmiumfreier aus Monomer und Polymer anzumischender Kunststoff auf Methylmethacrylatbasis, der bei Zimmertemperatur und ohne Druck innerhalb kurzer Zeit aushärtet.

Der Kunststoff wird primär als Modellierkunststoff in der Zahntechnik eingesetzt.

Bei jeder Verwendung des Kunststoffes besteht die Gefahr, dass sich dieser bei der Polymerisationsreaktion durch Schwund, die so genannte Polymerisationsschrumpfung, verzieht.

Diese Schrumpfung wird bei Modellationen durch oftmaliges Auftragen kleiner Mengen des Kunststoffes minimiert.

Eine solche Vorgehensweise lässt sich technisch bei der Befestigung der Gleichschaltungsplatten nicht realisieren. Hier muss in einem Arbeitsschritt die vollständige Menge des benötigten Kunststoffes aufgebracht werden,

da dieser die Aufgabe hat, zwei Metallteile zu fügen und den entstehenden Spaltraum auszufüllen.

Folgerichtig bestätigt sich der Zusammenhang stärkerer Ungenauigkeiten bei größerer Schichtdicke des aufgetragenen PMMA´s in dieser Studie.

6.3.2 Gleichschaltung mit Gips- Fixierung

Gips als Werkstoff taucht bereits sehr früh in der Geschichte auf. Um ca. 7000 v.Chr. wurden bereits die Eigenschaften des Gipses als modellierbares Baumaterial geschätzt und spätestens seit dem Hofzahnarzt Napoleons, Phillipp Pfaff, hat der Gips als Modellmaterial in der Zahnmedizin Einzug gehalten.

Der heute verwendete Gips kommt als natürlicher Gips oder synthetischer Gips in den Formen des Beta- oder Alpha- Halbhydrat vor und wird je nach seinen Eigenschaften in vier Klassen unterteilt.

Der mit seinen geringen Expansionswerten genaueste Gips ist der Super-Hartgips Typ IV.

Dieser Gips erreicht eine hohe Dimensionsstabilität und wurde zur Fixation des IML Split-Set-Gleichschaltungssystems verwendet. Caesar, Ernst 1991 Die Nichtmetalle in der Zahntechnik. Verlag Neuer Merkur München; (Franz, G. 1978).

Untersuchungen von Egger,C.(2001) untermauern dennoch die Forderung von Franz,G.(1981), dass auch Dentalgipse des Typs IV vor dem Gebrauch einer chargenspezifischen Expansionskontrolle zugeführt werden sollten um etwaige Fehlerquellen auszuschließen.

Die vorliegende Studie hat eindeutig gezeigt, dass die mit Gips fixierten Gleichschaltungsplatten eine höhere Genauigkeit aufweisen als die mit Pattern Resin fixierten.

Aus diversen weiteren Untersuchungen geht hervor, dass sich durch erneuten Kontakt des abgebundenen Gipses mit Wasser sich dessen Dimensionstreue und Härte irreversibel ändert. (Marxkors, R. 1993)

Eine Untersuchung mit nachträglichem Wasserkontakt lässt sich leider nicht standardisieren und wurde im Rahmen der vorliegenden Studie daher nicht berücksichtigt.

6.3.3 Gleichschaltung mit Girrbach Justagekleber- Fixierung

Aufgrund der hohen Klebekraft des Adhäsivsystems ist nur eine vergleichsweise geringe Klebermenge erforderlich, um die Splitcastplatten am Artikulatorunterteil zu fixieren.

Die mit dem Girrbach Justagekleber gleichgeschalteten Artikulatoren wiesen im Rahmen der Untersuchung die höchste Genauigkeit auf.

Mit einer Abweichung von durchschnittlich $\pm 0,015$ mm liegt das durch diese Art der Gleichschaltung entstandene Genauigkeitsdefizit deutlich unter der taktilen Schwelle der Zähne, die in der Literatur zwischen 0,02 und 0,09 mm angegeben wird.

Mit dem angebotenen Justagekleber kann jedoch nur eine relativ geringe vertikale Montagedistanz ausgeglichen werden, da es sich um ein rein adhäsives Verbindungssystem handelt.

Somit ist der Einsatz dieses Adhäsivsystems in Fremdartikulatoren nur bedingt möglich. Dabei dürfen sich die Bauhöhen der einzelnen Artikulatoren allerdings nicht zu stark voneinander unterscheiden.

6.4 Bewertung der Präzision von Gleichschaltungssystemen

Der Grundgedanke, dem die Idee der Gleichschaltung von Artikulatorengruppen zugrunde liegt, ist die Forderung nach der universellen Austauschbarkeit einzelner Artikulatoren für eine gegebene Modellsituation.

Artikulatoren sind präzise gefertigte feinmechanische Geräte, die zwar mittels heutiger Technik mit starker Maßhaltigkeit gefertigt werden, trotzdem aber nicht exakt untereinander gleich sind.

Diese Tatsache kann jeder bestätigen, der schon einmal versucht hat, Modelle aus einem Artikulator in einen anderen baugleichen Artikulator zu übertragen.

Mögen die einzelnen Abweichungen für sich betrachtet noch so gering sein, summieren sie sich doch letztendlich derart auf, dass im Endeffekt die Differenz bereits in den Modellen makroskopisch sichtbar wird.

Die Forderung an ein Gleichschaltungssystem besteht somit aus der verbal einfach formulierten Aussage: Man ersetzt die durch die Addition der Toleranzen nicht vergleichbar gewordenen Aufnahmen für die Gipsmodelle durch ein System, welches in seinen Positionen zueinander genau definiert ist.

Die Gleichschaltungsplatten, die zur späteren Aufnahme der Modelle vorgesehen sind, werden in der Regel durch einen metallischen Abstandhalter in ihrer Position fixiert.

Dieser Abstandhalter (Gleichschaltungsschlüssel) wird für alle gleichzuschaltenden Artikulatoren verwendet.

Als problematisch stellt sich heraus, die in der korrekten Position gehaltenen Gleichschaltungsplatten so am Artikulator zu fixieren, dass es im Verbund nicht zu Spannungen kommt, die später als Fehler in Erscheinung treten und den Grundgedanken der Gleichschaltung zunichtemachen.

In der Regel sind aber Gleichschaltungen artikulatoren- bzw. systemabhängig.

Mit dem in der vorliegenden Arbeit untersuchten Split-Set- System der Firma IML ist nach Herstellerangaben auch die Gleichschaltung bauungleicher Artikulatoren möglich.

In der Regel verfügen Labors und Praxen über Artikulatoren verschiedenster Hersteller. Meistens kommen dabei auch bauverschiedene Systeme zum Einsatz – so werden parallel Arcon und Non-Arcon-Artikulatoren verwendet.

Das Problem: Beim Wechsel zwischen beiden Systemen muß die unterschiedliche zentrische Achse ausgeglichen werden. (IML Instrumenta Mechanik Labor GmbH. Wahre Größe im Detail. IML)

6.5 Praktische Anwendbarkeit

In der Praxis obliegt es in der Regel dem zahntechnischen Labor, ein für die durchzuführende Arbeit angemessenes und präzises Gleichschaltungssystem auszuwählen. Für das Labor zählen sowohl die Kriterien der Genauigkeit als auch die der Universalität.

In der Gesamtheit sollte das Augenmerk nicht nur auf die Eignung einer einzelnen Komponente gelegt werden. Arbeiten, die unter Zuhilfenahme des präzisesten Gleichschaltungssystems angefertigt wurden, können sich in der Praxis als unzureichend genau erweisen, wenn andere Übertragungskomponenten, wie das verwendete Modellsystem oder die verwendeten Abformmaterialien, keine ausreichende Genauigkeit aufweisen.

Hier zeigt sich auch deutlich, wie wichtig eine gute Kommunikation zwischen Praxis und Labor ist, um z. B. die entstehende

Abbindekontraktion der verwendeten Abformmasse mit der optimalen Abbindeexpansion des verwendeten Modellmaterials auszugleichen.

Dem Zahntechniker obliegt es nun, das geeignete Modellsystem auszuwählen. Dabei spielen mehrere Faktoren eine Rolle.

Das ausgewählte Modellsystem soll möglichst universell einsetzbar, einfach und fehlerarm im Handling, kostengünstig und zudem hochpräzise und möglichst umweltverträglich sein, da der Zahntechniker auch für die notwendige Entsorgung aufkommen muss. (Schilling, H. 2001 [Dissertation] Jena Friedrich-Schiller-Universität)

Nach Zeitstudien von Schönhof schnitt das pinlose model-tray-Modellsystem am schnellsten ab. VOSS gibt jedoch zu bedenken, dass die alleinige Betrachtung der Rationalität bei der Wahl des Modellsystems nicht im Vordergrund stehen darf. Es gilt den Rationalisierungseffekt und die Genauigkeit eines Modellsystems gegeneinander abzuwägen, wobei der Gewichtung der Präzision eindeutig der Vorrang zu geben ist.

In einer Untersuchung von Marxkors und Danner wurde 1986 darauf hingewiesen, dass die Gipsexpansion die eigentliche Ursache für die Probleme bei der Modellherstellung darstellt.

Daher ist es einleuchtend, dass sockelgipsfreien Modellsystemen der Vorzug zu geben ist.

Jedoch entstehen durchaus Ungenauigkeiten, wenn das gipsfreie Sockelsystem nicht auf die entstehende Abbindeexpansion einzustellen ist. Das derzeit einzige bekannte Modellsystem, welches diese genauigkeitssteigernden Eigenschaften vereint, ist das Modell- und Dubliersystem MODU.

Es besteht aus einer Grundplatte, auf die der noch nicht abgebundene Zahnkranz gesockelt wird. Nach der Erhärtung des Gipses wird der Zahnkranz in möglichst kleine Segmente gesägt und dann auf die um die durchschnittliche Abbindeexpansion vergrößerte Arbeitsplatte gesetzt.

Der einzige Nachteil bei diesem Modellsystem ist das zeitaufwendige Sägen des Zahnkranzes in einzelne Segmente. (Schilling, H. 2001 [Dissertation] Jena Friedrich-Schiller-Universität)

Dies wiederum muß aber auch als Vorteil gesehen werden, da sich die Expansion auf den Einzelstumpf reduziert. (Rath, E. 1990)

7 Schlussfolgerungen

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wurden die fabrikneuen Gleichschaltungssysteme Splitex von Girrbach und Split-Set von IML jeweils auf 7 Artikulatoren Artex TK und Arti S4 auf ihre horizontale und vertikale Genauigkeit überprüft. Zusätzlich wurde eine Serie bereits zwei Jahre im Gebrauch befindlicher Artikulatoren Artex TK, die mit dem Splitexsystem gleichgeschaltet worden waren, betrachtet, um mögliche, durch die Gebrauchsperiode entstehende Ungenauigkeiten festzustellen.

Um zu reproduzierbaren Messergebnissen zu gelangen, wurden spezielle Prüfkörper entworfen, die formschlüssig und selbstzentrierend auf das jeweilige Gleichschaltungssystem einsetzbar waren und als Okklusionsrelief vier Messpfeiler mit jeweils 10 mm Kantenlänge aufwiesen, die sich mit einem Luftspalt gegenüberstanden.

Diese Messpfeiler wurden mit Hilfe einer Zeiss Jena-Universal-Messmaschine (UMM) koordinatenorientiert angesteuert und in ihrer Ausrichtung zueinander sowohl horizontal als auch vertikal vermessen.

Die UMM ist in der Grundversion als zweidimensionale elektromechanische Messmaschine konzipiert, die für einen Teil der erforderlichen Messungen durch ebenfalls elektromechanische Feinmessgeräte zur Messung der dritten Dimension aufgerüstet wurde.

Mit dieser Kombination waren in der horizontalen Ebene Genauigkeiten von 0,0001 mm und in der vertikalen Ebene von 0,001 mm erreichbar.

Da ein taktiler Erfassen von Störgrößen im menschlichen Gebiss bei

0.03 mm beginnt und bereits zu Parafunktionen führt, dürfen systembedingte Genauigkeitsschwankungen in der Gleichschaltung eines Artikulatorenpools keinesfalls den Wert von 0.03 mm übersteigen.

Die innerhalb der einzelnen Artikulatorenpools ermittelte Genauigkeitsabweichung kann wie folgt beziffert werden:

Die größte Ungenauigkeit ist in dem Artikulatorenpool --Artex TK mit Splitexsystem gebraucht-- mit einem Wert von $\pm 0,55611458$ mm zu finden.

Der entsprechende Artikulatorenpool --Artex TK mit Splitexsystem fabrikneu-- weist eine Genauigkeitsabweichung von $\pm 0,038950694$ mm auf.

Die Gruppe --Arti S4 mit Splitexsystem fabrikneu-- schneidet in der Untersuchung mit der zweitgrößten Genauigkeitsabweichung von $\pm 0,53160764$ mm ab.

Die Gruppe --Arti S4 mit Split-Set-System fabrikneu-- erreicht die zweitbeste Genauigkeit mit einer Abweichung von $\pm 0,027118056$ mm.

Die systemeigene Kombination der Gruppe --Arti S4 mit Split-Set-System fabrikneu-- liegt mit einer Genauigkeitsabweichung von $\pm 0,29590972$ mm nur knapp darüber, aber immer noch innerhalb der Toleranzgrenze von 0,03 mm.

Die genauesten Werte erzielte der Artikulatorenpool --Artex TK mit Splitexsystem und Justagekleber fabrikneu-- mit einer Genauigkeitsabweichung von $\pm 0,015178819$ mm.

Im direkten Vergleich der verschiedenen Gleichschaltungsmethoden und -systeme untereinander wiesen alle signifikante Unterschiede bei einzelnen unterschiedlichen Messpunkten auf.

Interessanterweise fielen im Vergleich des Systems mit der niedrigsten Streuung zum System mit der ausgeprägtesten Streuung nur zwei Punkte

mit signifikantem Unterschied in der vertikalen Distanz auf, was aber auf die große Streubreite in positiver und negativer Richtung der einzelnen Messwerte zurückzuführen ist.

Folglich ist in der vorliegenden Untersuchung der Größe der einzelnen Streubereiche im Hinblick auf die Vergleichbarkeit der Gleichschaltung die größte Bedeutung beizumessen.

Abschließend lässt sich zusammenfassend festhalten, dass jede Serie gleichgeschalteter Artikulatoren innerhalb eines angemessenen Zeitraumes auf etwaige Veränderungen hin überprüft werden sollte.

8 Literaturverzeichnis

1. Amon U.1999: Qualitätsmanagement in der Arztpraxis – Patientenbindung, Praxisorganisation, Fehlervermeidung. Springer Verlag, Berlin (1999)
2. Bauer A. und Gutowski A.1978: Gnathologie: Einführung in Theorie und Praxis Quintessenz Verlags GmbH, Berlin (1978)
3. Bischoff C und Possart W.1983: Adhäsion: theoretische und experimentelle Grundlagen. Akademie-Verlag, Berlin (1983)
4. Becker, J., Heidemann, D.1993: Entwicklungsstand und Probleme des Einsatzes von CAD/CAM-Systemen. Dtsch Zahnärztl Z 48, 611-617 (1993)
5. Bellanti, N.D.1973: The significance of articulator capabilities. Part I. Adjustable vs. semiadjustable articulators. J Prosthet Dent 29, 269-275 (1973)
6. Bernstein, A. et al.1990: Untersuchungen zur Paßgenauigkeit von Teilkronen mit unterschiedlicher Gestaltung des Präparationsrandes. ZWR, 99., Nr. 1 (1990)
7. Börkircher H. 1999: Der Zahnarzt als Praxismanager. Quintessenz Verlags GmbH, Berlin (1999)
8. Caesar H. H. 1993: Die Ausbildung zum Zahntechniker Band 5: Totalprothese. Verlag Neuer Merkur GmbH, München (1993).
9. Caesar, Ernst 1991: Die Nichtmetalle in der Zahntechnik Verlag Neuer Merkur München (1991)

10. Celenza F. V. Nasedkin J. N. Schärer P. 1979: Okklusion: der Stand der Wissenschaft. Quintessenz Verlags GmbH Berlin, (1979)
11. Chou, T., Pameijer, C.H. 1987: An investigation of the reproducibility of articulators. J Prosthet Dent 58, 442-448 (1987)
12. Combe E.C. 1984: Zahnärztliche Werkstoffe, Zusammensetzung – Verarbeitung – Anwendung. Carl Hanser, München (1984)
13. Davis S., Kelly J.R. and Campell S.D. 1989: Use of an elastomic material to improve the occlusal seat and marginal seal of cast restoration. The Journal of Prosthetic Dentistry 62:288 (1989)
14. Demmel H.J. 1971: Der Einfluss verschiedener Zementarten auf den Randschluss paßgenauer Kronen. Dtsch Zahnärztl Z 26:700-705 (1971)
15. Egger C 2001: Experimentelle Vergleichsstudie zum Ausmaß horizontaler und vertikaler Dimensionsänderungen bei der Herstellung von Sägeschnittmodellen anhand der Modellsysteme Quick-Pin und Modu.Dissertation Friedrich-Schiller-Universität Jena.
16. Fink M.G., Tschernitschek H., Wähling H.K. and Stiesch-Scholz M. 2004: Influence of Occlusal Interferences on Spinal Function. ZWR 113:314-32 (2004)
17. Fischer, R. 1959:Die Artikulationslehre. In: HÄUPL, K., MEYER, W., SCHUCHARDT, K.:Die Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde, Urban&Schwarzenberg, München, Berlin (1959)
18. Franz G. 1975: Das Dimensionsverhalten zahnärztlicher Hartgipse, Habilitationsschrift Hamburg (1975)

19. Franz G. 1978: Untersuchungen über das Dimensionsverhalten zahnärztlicher Hartgipse, Carl Hanser München-Wien (1978)
20. Franz G. 1980: Vom Abdruck zum Modell, Quintessenz der Zahntechnik 6 (1980)
21. Franz G. 1981: Dentalgipse: Struktur, Verhalten, Verarbeitung, Hanser Verlag (1981)
22. Freesmeyer, W.B. 1984: Funktionelle Befunde im orofacialen System und deren Wechselwirkung. Med. Diss., Eberhard-Karls-Universität, Tübingen (1984)
23. Fuchs P., Schubert R. und Springer O. 1976: Experimentelle Untersuchungen über Reproduzierbarkeit von Artikulatormontagen. Dtsch Zahnärztl Z 31:730 (1976)
24. Fuhr K, Kares K und Siebert G. 1971: Nachuntersuchungen festsitzenden Ersatzes. Dtsch Zahnärztl Z 26:716 (1971)
25. Fuhr, K., Siebert, G. 1981: Die Wirkungsweise von Artikulatoren. In: Ketterl, W.: Deutscher Zahnärztekalendar., S. 52-Karl Hanser Verlag, München (1981)
26. Fuhr, K., Reiber, T. 1985: Arcon- oder NonArcon-Artikulatoren? In: Ketterl, W.: Deutscher Zahnärztekalendar. 70-83. Carl Hanser Verlag, München (1985)
27. Fuhr K. und Reiber T. 1996: Kronenprothetik. Urban und Schwarzenberg, München, Wien (1996)

28. Fusayama T., Die K., Kurosu A. and Hosoda H. 1963: Cement thickness between cast resolation and preparation walls. J Prosthet Dent 13:354 (1963)
29. Gernet W. und Rammelsberg P. 2000: Kiefergelenkerkrankungen und Funktionsstörungen. In Schwenzer N und Ehrenfeld M: Zahn-Mund- Kiefer- Heilkunde Band III: Zahnärztliche Chirurgie. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York (2000) S. 263-308
30. GIRRBACH DENTAL 1993: Das Original als Vorbild - Artex Analogsystem. Girrbach Dental, Pforzheim (1993)
31. GIRRBACH DENTAL 1993: Der CNC-Zahntechniker. Girrbach Dental, Pforzheim (1993)
32. GIRRBACH DENTAL 1993: Girrbach Dental Systeme, Girrbach Dental, Pforzheim (1993)
33. Girrbach, K. 1991: Einige theoretische Grundlagen zur Auswahl eines Artikulatorsystems. Dent Labor 39, 653-659 (1991)
34. Graber G. und Pfändler U. 1980: Die Quintessenz einer praxisbezogenen Kronen und Brückenprothetik. Quintessenz Verlag-GmbH, Berlin (1980)
35. Gross M. D. 1987: Okklusion in der restaurativen Zahnheilkunde. Carl Hanser Verlag, München (1987)

36. Gross M., Nemokovsky C., Tabibian Y., Gazit E. 1998: The effect of three different recording materials on the reproducibility of condylar guidance registrations in three semi-adjustable articulators. J Oral Rehabil 25, 204-208 (1998)
37. Guichet N.F. 1969: Applied gnathology - Why and how. Denar Corp. Anaheim (1969)
38. Haywood V. B. 1986: Seating Castings. J Prosthet Dent 55:405-406 (1986)
39. Hesler H., Hofmann M., Pröschel P. 1977: Geometrischmathematische Analyse von Übertragungsfehlern in den Artikulator und deren praktische Auswirkungen. Dtsch Zahnärztl Z 32, 599-605 (1977)
40. Hofmann-Axtehem W. 1992: Lexikon der Zahnheilkunde, Band 2. S. 62. Quintessenz, Berlin-Chicago-London-Sao Paulo-Tokio (1992)
41. Hoffmann – Axthelm W. 1995: Lexikon der Zahnmedizin. Quintessenz Verlags GmbH, Berlin (1995)
42. Hohmann A. und Hielscher W. 1995: Lehrbuch der Zahntechnik. Quintessenz Verlags GmbH, Berlin (1995)
43. Hohmann A. und Hielscher W. 1998: Lexikon der Zahntechnik. Verlag Neuer Merkur GmbH, München (1998)
44. Horn H. R. 1982: Kronen und Brückentherapie als Therapie. Biologische, psychologische und präventive Faktoren. Quintessenz Verlags GmbH, Berlin (1982)

45. IML Instrumenta Mechanik Labor GmbH: Wahre Größe im Detail. IML
46. Ishikiriama A, Oliveira J, Fonterrada D. and Mondelli J. 1981: Influence of some factors on the fit of cemented crowns. J Prosthet Dent 45:400-404 (1981)
47. Janda R. und Kappert H. F. 2000: Qualitätsmanagement. Quintessenz Verlags GmbH, Berlin (2000)
48. Jorgensen K. D. 1960: Structure of the film of zinc phosphat cement. Acta Odontol Scand 18:491-501 (1960)
49. Johannsen G., Redmalm G. and Ryden H. 1989: Surface changes on dental materials. The influence of two different dentifrices on surface roughness measured by laser reflexion and profilometer techniques. Swed Dent J 13:267-276 (1989)
50. Jorgensen K. D. and Peterson G. F. 1963: The grain size of zinc phosphate cements. Acta Odontol Scand 21:255-270 (1963)
51. Jüde H. D., Kühl W. und Rossbach A. 1989: Einführung in die zahnärztliche Prothetik. Deutscher Ärzte- Verlag, Köln (1989)
52. Kamann W.K. 1998: Die fallspezifische, befundadäquate Artikulatorwahl in der Diagnostik und Therapie. Dental Spiegel 26-36 (1998)
53. Kamann W.K., Sandmann D. 1996: Zur Konstruktion und Klassifikation von Artikulatoren. Teil I. Zahnärztl Welt/Ref 105, 553-556 (1996)

54. Kamann W.K., Sandmann D. 1996: Zur Konstruktion und Klassifikation von Artikulatoren. Teil II. Zahnärztl Welt/Ref 105, 646-649 (1996)
55. Karlsson S., Molin M. 1995: Effects of gold and bonded ceramic inlays on the ability to perceive occlusal thickness, Journal Of Oral Rehabilitation (1995); 22:9-13
56. Käyser A. F., Crengers N. H., Plasmans P. J., Postema N. und Snoel P. A. 1997: Kronen- und Brückenprothetik, Behandlungsplanung, Indikation, Ausführung, Langzeitbewährung. Deutscher Ärzte-Verlag, Köln (1997)
57. Ken T. and Ibbertson R. 1996: The effect of cement volume on crown seating. Int J Prosthodont 9:445-451 (1996)
58. Kerschbaum T. und Voß R. 1981: Die praktische Bewährung von Krone und Inlay. Dtsch Zahnärztl Z 36:243 (1981)
59. Koeck B. 1978: Artikulationslehre -heute. Quintessenz 29, (1978)
60. Koeck B. 1989: Instrumentelle Funktionsdiagnostik. In: HUPFAUF L.: Praxis der Zahnheilkunde, Band 8 - Funktionsstörungen des Kauorgans. S.105, Urban&Schwarzenberg, München, Wien, Baltimore (1989)
61. Körber E. 1987: Die prothetische "Versorgung des Lückengebisses. Befunderhebung und Planung. 3. Auflage, S. 128, Carl Hanser, München, Wien (1987)
62. Körber K. 1995: Zahnärztliche Prothetik. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York (1995)

63. Kordaß B.: Perspektiven der virtuellen Realität in der Artikulatorentchnik, Teamwork Interdisziplinäres Journal für Prothetische Zahnheilkunde.
64. Kordaß B., Gärtner CH. 2000: Der „Virtuelle Artikulator“ – Chancen und Einsatzmöglichkeiten der virtuellen Realität in der Zahntechnik. Quintessenz Zahntech 26, 686-692 (2000)
65. Kordaß B. und Schrader U. 1990: Nachuntersuchung zur Paßgenauigkeit von Kronen, die im Phantomkopf unter praxisnahen Bedingungen hergestellt wurden. ZWR, 99 Jahrgang 1990, Nr.2;
66. Koyano E., Iwaku M. and Fusayama T. 1978: Pressuring techniques on cement thickness for cast restorations. J Prosthet Dent 40:544 (1978)
67. Kühl W. 1967: Geometrie der scharnieryelenkbezüglichen Modellorientierung. Dtsch Zahnärztl Z 22, 873-875 (1967)
68. Lejoyeux J. 1976: Prothese complete. Tome II, Maloine, S.A., Paris (1976)
69. Linß G. 2002: Qualitätsmanagement für Ingenieure, Fachbuchverlag Leipzig (2002)
70. Marker V. A., Miller A. W., Miller B. H. and Swepston J. H. 1987: Factors affecting the retention and fit of gold castings. J Prosthet Dent 57:425-430 (1987)
71. Marxkors R. 2000: Lehrbuch der zahnärztlichen Prothetik. Dt Zahnärzte Verlag DAV- Hanser, Köln, München (2000)

72. Marxkors R. 1993: Lehrbuch der zahnärztlichen Prothetik 2. Auflage Carl Hanser Verlag München Wien (1993)
73. Marxkors R., Danner M. 1986: Experimentelle Untersuchungen zur Genauigkeit von Sägeschnittmodellen. Verlag Neuer Merkur GmbH München Dentallabor 34 (1986)
74. Matigioni M. 1990: Präzision und Kronenkontur in der restaurativen Zahnheilkunde. Quintessenz Verlags GmbH (1990)
75. Meyer G., Dalri H. 1985: Dreidimensionale elektronische Messung der Bewegungen des Kondylus über die Scharnierachse des Unterkiefers. Dtsch Zahnärztl Z 40, 881-886 (1985)
76. Meyer G., Motsch A. 1987: Von der Artikulationslehre zur Funktionsdiagnostik. In: AKADEMIE PRAXIS UND WISSENSCHAFT IN DER DGZMK: Das Funktionsgestörte Kauorgan., S. 9-33. Carl Hanser, München, Wien (1987)
77. Millstein P. L. 1985: An evaluation of occlusal indicator wax. J Prosthet Dent 53:570-572 (1985)
78. Millstein P. L. 1984: A Methode to determine occlusal contact and noncontact areas: Preliminary report. J Prosthet Dent 52:106 (1984)
79. Mitchell D.L., Wilkie N.D. 1978: Articulators through the years. Part I, J Prosthet Dent 39, 330-338 (1978)
80. Mitchell D.L., Wilkie N.D. 1978: Articulators through the years. Part II, J Prosthet Dent 39, 451-458 (1978)

81. Ohlrogge H.H. 1982: Elektronische Registrierung der Kiefergelenksbewegungen. Dtsch Zahnärztl. Z 37, 263-268 (1982)
82. Ott K., Olavarria L.E., Bose M. 1991: Untersuchungen über die Reproduzierbarkeit von Registrierungen mit dem Condylcomp LR2. Dtsch Zahnärztl Z 46, 596-598 (1991)
83. Posselt U. 1952: Studies in the mobility of the human mandible. Acta Odontol Scand Suppl. 10, 10 (1952)
84. Price R.B. Mansfield 1999: Long-Term reliability of semiadjustable articulator interchangeability, International Journal Prosthodontics 8:235-9 (1999)
85. Pröschel P., Morneburg T.H., Goedecke U. 1995: Okklusale Fehler bei Mittelwerteinstellung im Artikulator. Zahnärztl Mitt 85, 49-54 (1995)
86. Rath E, 1990: Ein neues Modell- und Doubliersystem. High- Tech-Fertigung für mehr Präzision. Verlag Neuer Merkur GmbH München, Dental Labor 9. (1990)
87. Rath E, 1991: Die Herstellung feuerfester Stümpfe mit dem Doubliersystem nach Rath. Verlag Neuer Merkur GmbH München, Dental Labor 39. (1991)
88. Rath E, 1995: Doubliersystem. Verlag Neuer Merkur GmbH München, Dental Labor 43. (1995)
89. RB DENTAL ELEKTRONIK 1999: CPS-PC - der erste elektronische Artikulator. ZMK 321, (1999)

90. Reiber T., Hille N. 1989: Zur Präzision von teilweise einstellbaren Artikulatoren. Zahnärztl Welt/Ref 98, 119-121 (1989)

91. Reichenbach E. 1963: Prothetik-Totaler Ersatz. In: HOFER, O., REICHENBACH, E., SPRETER VON KREUDENSTEIN, T., WANNEMACHER, E.: Lehrbuch der klinischen Zahnheilkunde. Bd. II. Prothetik / Kieferorthopädie / Zahnerhaltungskunde., S. 293, Johann Ambrosius Barth, Leipzig (1963)

92. Roszbach A. 1973: Auswirkungen von Fehlregistrierungen der Gelenkbahnneigung auf die Reproduktionsgenauigkeit von Lateralbewegungen. Dtsch Zahnärztl Z 28, 358-361 (1973)

93. Rugh J.D., Johnson R.W. 1988: Mandibular movements. In: MOHL, N.D., ZARB, G.A., CARLSSON, G.E., RUGH, J.D.: A textbook of occlusion., S. 129, Quintessenz, Chicago, London, Berlin, Sao Paulo, Tokyo, Hong Kong (1988)

94. Schilling H. 2001: Experimentelle Vergleichsanalyse der Arbeits- und Materialökonomie sowie Erfolgsbilanz unterschiedlicher Modellsysteme. Dissertation Friedrich Schiller Universität Jena, (2001)

95. Schönhof G. 1982: Vergleichende Untersuchungen von Herstellungszeiten für Sägeschnittmodelle mit Pins und ohne Pins. Quintessenz Verlag Berlin Quintessenz Zahntechnik 8 (1982)

96. Schürmann R., Klötzer W.T. 1986: Über das "Einartikulieren" in der Totalprothetik. Dtsch Zahnärztl Z 41, 1166-1170 (1986)

97. Siebert G. 1984: Zahnärztliche Funktionsdiagnostik mit und ohne Hilfsmittel. Carl Hanser Verlag, München (1984)

98. Smith D.E. 1985: Does one articulator meet the needs of both fixed and removable Prosthodontics? J Prosthet Dent 54, 296-302 (1985)
99. Suvin M. 1982: Die Bewertung der Artikulatoren mit besonderer Berücksichtigung des Gnathomats. Zahnärztl Welt/Ref 91, 44-48 (1982)
100. Teamwork Interdisziplinäres Journal für Prothetische Zahnheilkunde 7. Jahrgang ,1/2004:Das Einmaleins der Funktion.(2004)
101. Thomas P.K. 1982: Die Organische Okklusion im Rahmen der Aufwachstechnik. Quintessenz Zahntechnik 519-524 (1982)
102. Toutenburg H., Toutenburg S. und Walther W. 1991: Datenanalyse und Statistik für Zahnmediziner. Carl Hanser Verlag, München, Wien (1991)
103. Tradowsky M. 1990: Sex difference in intercondylar distance. J Prosthet Dent 63, 301-343 (1990)
104. Van der Zel J.M. 1994: CAD/CAM-Restaurationen in Okklusion. Zahnärztl Welt/Ref 103, 420 (1994)
105. Voss R. Meiners, H. 1987:Fortschritte der zahnärztlichen Prothetik und Werkstoffkunde Band III Hanser Verlag, München- Wien (1987)
106. ZWR-Redaktion 1983: Der Artikulator - ein unerläßliches Arbeitsmittel für eine optimale zahnärztliche Versorgung. Prof. G. Siebert beantwortet die Fragen der ZWR-Redaktion. Zahnärztl Welt/Ref 92, 20-23 (1983)

9 Anhang

Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Frau OÄ PD Dr. Monika Schmidt für die freundliche Bereitstellung des Themas und die intensive Betreuung über den gesamten Zeitraum der Dissertation.

Den Firmen Amann Girrbach sowie IML Instrumenta Mechanik Labor GmbH möchte ich für die Bereitstellung der Artikulatoren und Gleichschaltungssysteme danken.

Dem Fachbereich Feinwerktechnik der Fachhochschule Jena gilt mein Dank für die ausführliche Unterstützung bei der praktischen Durchführung der Arbeit und der Nutzungsmöglichkeit des Feinmessraumes und der Messinstrumentarien.

Den Zentralwerkstätten der Friedrich- Schiller- Universität Jena und der Fachhochschule Jena danke ich für die Anfertigung der Prüfkörper und des Messtisches.

Dem Zahntechnikermeister Elmar Rath möchte ich für die gemeinsamen wissenschaftlichen Diskussionen danken. Seine theoretischen und experimentellen Anregungen waren von unschätzbarem Wert.

Lebenslauf

Name: Wolfgang Georg Hempel

Anschrift: Händelstraße 14
78224 Singen

Geburtsdatum: 29. November 1975

Geburtsort: Fürth/ Bayern

Staatsangehörigkeit: deutsch

Familienstand: verheiratet

Ehefrau: Sabine Hempel geb. Amling, Ärztin

Schulbildung: 1982 – 1986 Gemeinschaftsgrundschule,
St. Augustin
1986 – 1993 Elly-Heuss-Knapp-Gymnasium,
Bonn
1993 – 1995 Staatliche Integrierte
Gesamtschule, Erfurt
Juni 1995 Schulabschluss Allgemeine
Hochschulreife, Latinum

Wehrdienst: Oktober 1995 bis März 1996
Zivildienst: März 1996 bis Oktober 1996 Zivildienst

Ausbildung: 1997 – 2000 Zahntechnik-Ausbildung
Dentallabor Werth & Priester,
Erfurt
Oktober 2000 Beginn des Zahnmedizinstudiums
Dezember 2005 Erfolgreicher Abschluss des
Zahnmedizinstudiums.

Berufstätigkeit: September 2006 Assistenz Zahnarzt
Praxis Dr. Steger, Singen

Hobbys: Segelfliegen, Segeln
Feinmechanik und Elektronik

Qualifikationen: Gesellenbrief der Zahntechnik,
Führerschein der Klassen I, III, IV und V
Privatpilotenlizenz Beiblatt C

Singen, 14. November 2007

Ehrenwörtliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass mir die Promotionsordnung der Medizinischen Fakultät der Friedrich-Schiller-Universität bekannt ist,

ich die Dissertation selbst angefertigt habe und alle von mir benutzten Hilfsmittel, persönlichen Mitteilungen und Quellen in meiner Arbeit angegeben sind,

mich folgende Personen bei der Auswahl und Auswertung des Materials sowie bei der Herstellung des Manuskripts unterstützt haben: OÄ PD Dr. Monika Schmidt,

die Hilfe eines Promotionsberaters nicht in Anspruch genommen wurde und dass Dritte weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen von mir für Arbeiten erhalten haben, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen,

dass ich die Dissertation noch nicht als Prüfungsarbeit für eine staatliche oder andere wissenschaftliche Prüfung eingereicht habe und

dass ich die gleiche, eine in wesentlichen Teilen ähnliche oder eine andere Abhandlung nicht bei einer anderen Hochschule als Dissertation eingereicht habe.

Ort, Datum

Unterschrift